ORTAÖĞRETİM

FİZİK

12. SINIF

Ders Kitabı

Yazarlar

Atilla ÇİFCİ

Hasan BOZKURT

Mustafa NALBANT



DEVLET KİTAPLARI

.........................., 2022

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI ....: 8883
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAP DİZİSİ..: 1898

Editör

Prof. Dr. Sehban KARTAL

Dil Uzmanı

Abdülhakim KILINÇ

Görsel Tasarımcılar

Binnaz KAYA

Hüseyin TURGUT

Program Geliştirme Uzmanı

Muharrem Hilmi AKBULUT

Ölçme ve Değerlendirme Uzmanı

Sultan GÜL AHÇI

Rehberlik Uzmanı

Esan GÜL

Baskı

ISBN 978-975-11-6779-8

Milli Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulunun 04.01.2023 gün ve 02 sayılı kararı ile ders kitabı olarak kabul edilmiştir.



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

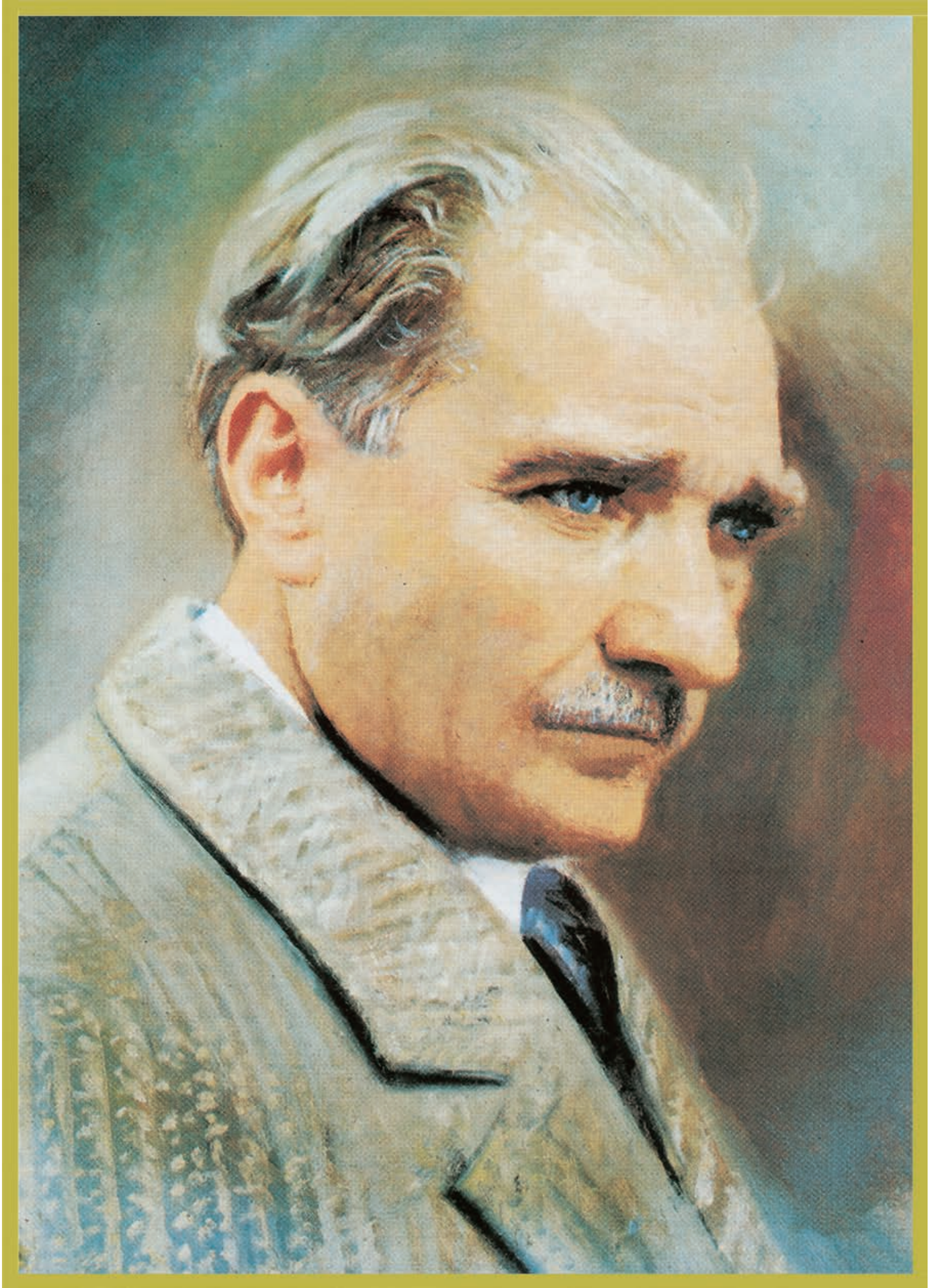
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

6. ÜNİTE

KİTABIN TANITIMI

Ünite numarasını gösterir.

Ünite adını gösterir.

Ünitede yer alan bölüm başlıklarını ve sırasını gösterir.

Sayfa numarasını gösterir.

Etkileşimli kitap, video, ses, animasyon, uygulama, soru, sunum, oyun vb. ilave kaynaklara ulaşabileceğiniz karekodu gösterir.

1. ÜNİTE ÇEMBERSEL HAREKET

ÜNİTE BÖLÜMLERİ

1.1. DÜZGÜN ÇEMBERSEL HAREKET
1.2. DÖNEREK ÖTELEME HAREKETİ
1.3. AÇISAL MOMENTUM
1.4. KÜTLE ÇEKİM KUVVETİ
1.5. KEPLER KANUNLARI

Bölüm numarasını gösterir.

Bölümün adını gösterir.

Bölümde öğrenilmesi hedeflenen anahtar kavramları gösterir.

Bölüm girişlerindeki okuma parçalarını gösterir.

Konularla ilgili öğrencilerin mevcut bilgilerini yoklayacak hazırlık sorularını gösterir.

Kazanımlar doğrultusunda nelerin yapılacağını gösterir.

1. BÖLÜM 1.1. DÜZGÜN ÇEMBERSEL HAREKET

Anahtar Kavramlar: Çizgisel Hız, Açısal Hız, Merkezcil Kuvvet, Merkezcil İvme

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

YAPAY YER ÇEKİMİ MAKİNESİ MÜMKÜN MÜ?

HAZIRLIK SORULARI

Ünite, bölüm ve konu sıralamasını gösterir.

Konu içeriğini gösterir.

Konu başlıklarını gösterir.

Bölüm adını gösterir.

Görsel açıklamasını gösterir.

1.4.1. Kütle Çekim Kuvveti Nedir?

Kütle Çekim Kuvvetinin Gezegenlerin Hareketine Etkisi

Kütle Çekim Kuvvetinin Ay'ın Hareketine Etkisi

MERAKLISINA BİLGİ

ARAŞTIRMA

Konu ile ilgili öğrenci tarafından yapılacak uygulamaları gösterir.

UYGULAMA • 14

UYGULAMA • 15

Öğrenilen bilgilerin pekiştirilmesi amacıyla yapılacak simülasyon çalışmalarını gösterir.

3.1.3. Işığın Çift Yarıkta Girişimine Etki Eden Değişkenler

SİMÜLASYON 3

Öğrenilen bilgilerin pekiştirilmesi amacıyla yapılacak deneyi gösterir.

Öğrenilen bilgilerin pekiştirilmesi amacıyla yapılacak etkinlik çalışmalarını gösterir.

Bilgilerin pekiştirilmesi amacıyla verilen soru ve çözümleri gösterir.

Konu ile ilgili araştırma görevlerini ve açıklamalarını gösterir.

Ünite sonu ölçme ve değerlendirme bölümünü gösterir.

Güvenlik önlemleri ile ilgili sembolleri gösterir.

Şekil açıklamasını gösterir.

Konu ile ilgili alt başlığı gösterir.

Konu ile ilgili dikkat çeken ve merak uyandıran güncel bilgileri gösterir.

GÜVENLİK SEMBOLLERİ



YANGIN GÜVENLİĞİ

Bu sembol, yangın çıkma olasılığının göz önünde bulundurulması ve açık alev etrafında tedbir alınması gerektiğini gösterir.



ISI GÜVENLİĞİ

Bu sembol; yapılacak işlemlerde çok sıcak bir yüzeyin olabileceğini, bu yüzden el, ayak gibi organların zarar görmemesi için önlem alınması gerektiğini gösterir.



GÖZ GÜVENLİĞİ

Bu sembol, gözlerin korunması için gözlük kullanılması gerektiğini gösterir.



KİMYASAL MADDE GÜVENLİĞİ

Bu sembol, yakıcı ve cildi tahriş edici kimyasal maddelerle çalışılırken dikkat edilmesi gerektiğini gösterir.



KIRILABİLİR CİSİM GÜVENLİĞİ

Bu sembol, yapılacak deneylerde kullanılan cam malzemelerin kırılabilecek türden olduğunu ve zarar görmemek için gerekli önlemlerin alınması gerektiğini gösterir.



ÇEVREYE ZARARLI

Bu sembol, atıkların ve kullanılan maddelerin su ve doğadaki canlılara zarar verebileceğini gösterir.



PATLAYICI MADDE GÜVENLİĞİ

Bu sembol, kullanılan kimyasal maddelerin çeşitli nedenlerle patlama ihtimaline karşı dikkat edilmesi gerektiğini gösterir.



LAZER GÜVENLİĞİ

Bu sembol, lazer ışığının göz için tehlikeli olduğunu ve lazer ışığıyla çalışılırken dikkat edilmesi gerektiğini gösterir.



ELEKTRİK GÜVENLİĞİ

Bu sembol, yüksek voltaja sahip elektrikli aletler kullanılırken dikkat edilmesi gerektiğini gösterir.



RADYASYON GÜVENLİĞİ

Bu sembol, canlı dokulara kalıcı hasar verebilecek radyasyon tehlikesini gösterir.



1. ÜNİTE

ÇEMBERSEL HAREKET

ÜNİTE BÖLÜMLERİ



1. ünitenin sunumu için karekodu okutunuz.



1. üniteye ulaşmak için karekodu okutunuz.

1. BÖLÜM

1.1. DÜZGÜN ÇEMBERSEL HAREKET



Anahtar Kavramlar

- Çizgisel Hız
- Açısal Hız
- Merkezcil Kuvvet
- Merkezcil İvme



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde periyot, frekans, merkezcil ivme, çizgisel hız ve açısal hız kavramları verilerek düzgün çembersel hareket açıklanacak; simülasyonlarla merkezcil kuvvetin bağlı olduğu değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve matematiksel bir model ortaya konması sağlanacak; düzgün çembersel hareket yapan cisimlerin hareketi analiz edilecek; yatay, düşey ve eğimli zeminlerde araçların emniyetli dönüşü ile ilgili hesaplamalar üzerinde durulacaktır.



YAPAY YER ÇEKİMİ MAKİNESİ MÜMKÜN MÜ?



Yaşam için mükemmel bir ortam sağlamasına rağmen Dünya'nın da sınırları var. Savaşlar, nüfus artışı, salgın hastalıklar, enerji ve gıda kaynaklarına artan talep, küresel ısınma ve ekosistemde meydana gelen bozulmalar yaşamı tehdit ediyor. Bu durum, insanoğlunu uzayda koloni kurma planları yapmaya ve Dünya'ya alternatif olabilecek bir ortam aramaya yönlendiriyor. Ancak alternatif gezegenlerde yaşamak bir yana onlara ulaşmak bile çok zor. Bu zorlukların başında yer çekimsiz ortama insan vücudunun ne derece uyum sağlayabileceği konusu geliyor. Uzun süreli uzay yolculukları, kemik erimesi ve kas kütlesi kaybı gibi birçok önemli soruna yol açabilir. Bu tür uzay yolculuklarında yapay da olsa yer çekimi oluşturmak, temel bir zorunluluk olarak göze çarpıyor. Peki, bu mümkün mü?

Marslı filminde Hermes, Yıldızlararası filminde Endurance isimli uzay gemileri, sürekli çembersel hareket yaparak yapay bir yer çekimi oluşturuyor. Kan tahlilinde kullanılan santrifüj düzeneklerinden esinlenilerek tasarlanan bu uzay araçlarında yapay yer çekimini oluşturan temel etken, kişilerin eylemsizlikleri gereği düz bir çizgi boyunca hareket etme eğilimlerine karşı onları çembersel harekete zorlayan merkezcil kuvvettir. Bu kuvvetin etkisi ile uzay aracının mürettebatı, kendilerine etki eden yapay bir yer çekimi hisseder. Ancak henüz bu merkezcil kuvveti oluşturacak ve sürekli çembersel döngüyü sağlayacak bir uzay aracı teknolojisine ulaşılamamıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar dikkate alındığında insanoğlunun, kendisini Mars ve ötesine taşıyacak bu teknolojiye ulaşması çok uzak görünmüyor.



HAZIRLIK SORULARI

1. İnsanların uzayda koloni kurma isteğinin başlıca sebepleri nelerdir?

2. Dünya'dan Mars'a yapılacak olası bir seyahatin yaklaşık 8 ay süreceği tahmin edilmektedir. Bu süreçte ihtiyaç duyulan yer çekimi ivmesi nasıl sağlanabilir?

3. Bir cismi döndürerek enerji elde etmek mümkün müdür? Çevrenizde buna benzer sistemler gözlemlediniz mi?

1.1.1. Düzgün Çembersel Hareket Nedir?

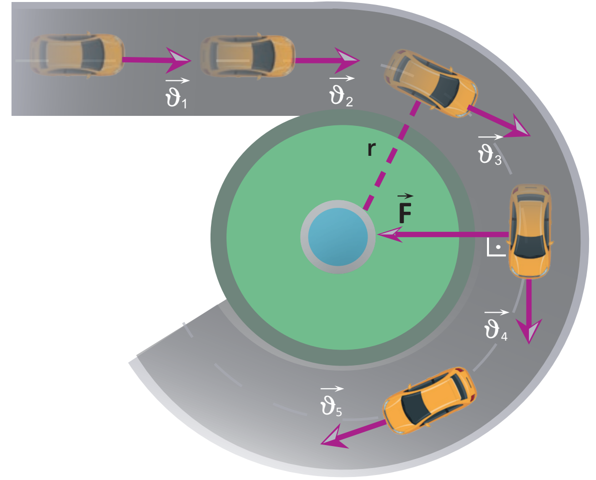
Günlük hayatta çembersel yörüngede hareket eden birçok cisme rastlanır. Lunaparklarda sabit büyüklükte bir hızla dönen dönme dolaplardaki kabinlerin hareketi, saatin akrep ve yelkovanının hareketi, sabit süratle ilerleyen bir araç tekerleğinin üzerindeki yazı ve işaretlerin hareketi (Görsel 1.1), santrifüj aletine yerleştirilen tüplerin hareketi (Görsel 1.2) düzgün çembersel harekete örnek verilebilir. Evrende makroskobik düzende gözlemlenen hareketlerin birçoğu, belli zaman aralıklarında tekrarlı olarak gerçekleşen hareketlerdir. Bu tür hareketler **periyodik hareket** olarak adlandırılır. Dolanım, titreşim ve düzgün çembersel hareket yapan cisimlerin hareketleri periyodik harekete örnek gösterilebilir.

Sabit bir eksen etrafında, yörüngesi çember şeklinde olan harekete **çembersel hareket** denir. Bu hareketi yapan cisim, sabit büyüklükte bir hızla ilerliyorsa hareket **düzgün çembersel hareket** olarak adlandırılır.

Şekil 1.1'deki gibi sabit süratle ilerlemekte olan bir aracın düzgün çembersel hareket yapabilmesi için hız vektörüne dik, sabit büyüklükte bir kuvvetin etkisi altında kalması gerekir. Cisim, bu kuvvetin etkisi altında kaldığı süre boyunca sabit bir süratle r yarıçaplı bir çember çizerek hareket eder. Bu hareket süresince hız vektörünün yönü sürekli değişir.


Görsel 1.1: *Sabit süratle ilerleyen bir aracın tekerleği*


Görsel 1.2: *Santrifüj aletine yerleştirilmiş tüpler*



Şekil 1.1: *Düzgün çembersel hareket yapan araç*

UYGULAMA » 1

Aşağıdaki hareket türlerini (titreşim, dönme ve öteleme) belirleyiniz.


Harç karmakta olan bir beton mikseri


Güneş etrafında dolanan gezegenler


Düzgün çalışan bir analog saatin akrep ve yelkovanı


Lunaparktaki zincir salıncaklar


Salıncakta sallanmakta olan çocuk


Metronom


Sabit hızla yükselmekte olan sıcak hava balonları


Ahşap kesen marangoz testeresi

Düzgün Çembersel Hareketle İlgili Kavramlar

200 metre veya 400 metre gibi kısa mesafe koşularında atletlerin yarışa aynı hizadan başlamamasının (Görsel 1.3) sebebi nedir? Bir tekerleğin dönüşü sırasında lastiğin üzerindeki yazılar, jant üzerindeki yazılara göre neden daha zor fark edilir? Bu ve bunun gibi birçok sorunun cevabı çembersel harekette gizlidir. Düzgün çembersel hareketi daha iyi anlamak için periyot, frekans, merkezcil ivme, çizgisel hız, açısal hız gibi kavramlara ihtiyaç vardır.



***Görsel 1.3:** Atletizmde 400 m yarışında çıkış takozları*

Periyot (T)

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin bir turu tamamlaması için gereken süreye **periyot** denir. Periyodun sembolü T, SI'da birimi saniyedir (s). Periyot kavramı, kendini tekrarlayan ve eşit zaman aralıklarında gerçekleşen olaylarda kullanılır. Örneğin analog bir saatte yelkovan bir turu 1, akrep ise 12 saatte tamamlar.

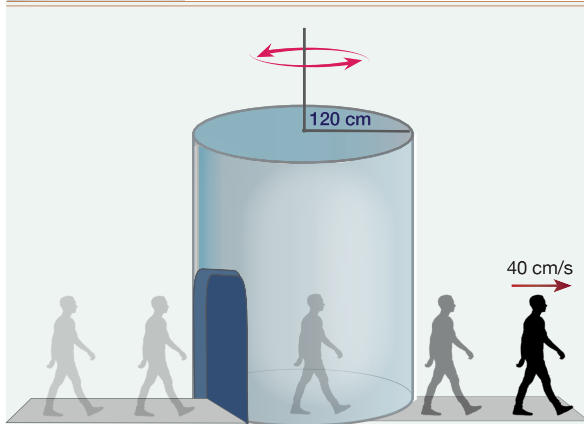
Frekans (f)

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, birim zamandaki (1 saniye) tur sayısına **frekans** denir. Frekansın sembolü f, SI'da birimi 1/saniye (s^{-1}) ya da hertzdir (Hz). Sabit bir eksen etrafında dönen vantilatör pervanesinin frekansı, sağladığı serinlik üzerinde; çamaşır veya kurutma makinelerinin tambur frekansı, sıkma performansında etkilidir. Periyot süreyi, frekans ise tekrar sayısını ifade eder. Periyot ve frekans kavramları, birimlerinden de anlaşılabileceği gibi birbiriyle ters orantılıdır. Bu orantı,

$$T \cdot f = 1$$

eşitliği ile ifade edilir.

SORU 1



40 cm/s'lik sabit süratle doğrusal bir yolda ilerleyen Yaman, sabit frekansla dönmekte olan 120 cm yarıçaplı silindir şeklindeki tek girişli bir döner kapıdan kapıya temas etmeden geçiyor.

Buna göre döner kapının olası periyot değerlerini bulunuz.

ÇÖZÜM

Yaman'ın düzgün doğrusal hareket yaptığı göz önüne alınarak döner kapıdan geçiş süresi Yol = Sürat x Zaman bağıntısı ile hesaplanabilir.

Silindirin Çapı = Sürat x Zaman

$240 = 40 \cdot t$

$t = 6$ saniye

Yaman girdiği kapıdan çıkacağı için kapı $\frac{T}{2}, \frac{3T}{2}, \frac{5T}{2}$ gibi buçuklu periyotlarla dönecektir.

Döner kapının olası periyodu

$\frac{T}{2} = 6$ ise T = 12 saniye,

$\frac{3T}{2} = 6$ ise T = 4 saniye,

$\frac{5T}{2} = 6$ ise T = 2,4 saniye gibi farklı değerlere sahip olur.

UYGULAMA » 2

Şekilde verildiği gibi sabit süratle kendi merkezi etrafında dönmekte olan bir bisiklet tekerleğinin üzerindeki yansıtıcı (reflektör), K noktasından L noktasına ilk kez 0,6 s sonra ulaşmaktadır.

Bu bisiklet tekerleğinin periyodu ve frekansı hangi değerleri alabilir? (Jant telleri arasındaki açılar eşittir.)



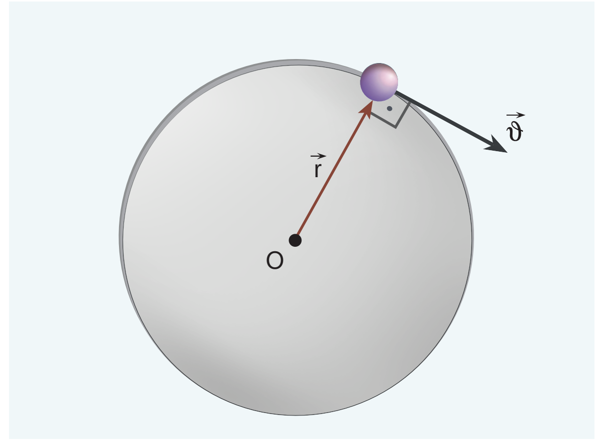
Çizgisel Hız ($\vec{\vartheta}$)

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, çember yayı üzerinde birim zamanda katettiği yay uzunluğuna **çizgisel hız** denir. Çizgisel hızın sembolü $\vec{\vartheta}$, SI'da birimi metre/saniyedir (m/s). Cisim; çemberin üzerinde, bir periyotluk süre içinde çemberin çevresi ($2 \cdot \pi \cdot r$) kadar yol alır. Çizgisel hızın büyüklüğü

$$\vartheta = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} \quad \text{veya} \quad \vartheta = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f$$

eşitliği ile ifade edilir.

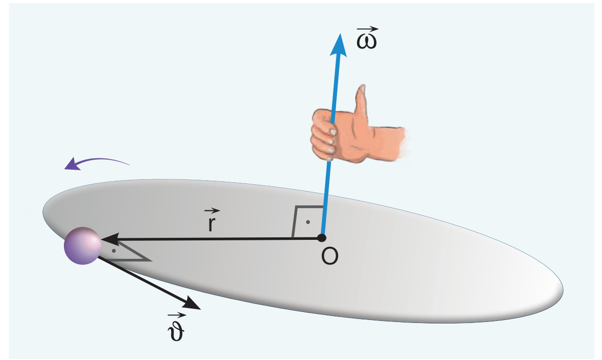
Çembersel hareket yapan bir cismin, herhangi bir anda bulunduğu noktaya çemberin merkezinden çizilen vektöre **yarıçap vektörü** denir. Yarıçap vektörü $\vec{r}$ ile gösterilir. Düzgün çembersel harekette konum vektörü yarıçap vektörüdür (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin çizgisel hız ve yarıçap vektörünün gösterimi

Açısal Hız ($\vec{\omega}$)

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, yarıçap vektörünün birim zamanda taradığı açının radyan cinsinden değerine **açısal hız** denir. Açısal hızın sembolü $\vec{\omega}$, SI'da birimi radyan/saniyedir (rad/s). Açısal hız, vektörel bir büyüklüktür. Açısal hız vektörünün yönü, sağ el kuralı ile bulunur. Şekil 1.3'te görüldüğü gibi sağ elin dört parmağı dönüş yönüne doğru kıvrıldığında açık olan başparmak açısal hız vektörünün yönünü gösterir. Açısal hız vektörü, yarıçap vektörüne diktir.



Şekil 1.3: Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin açısal hız vektörü

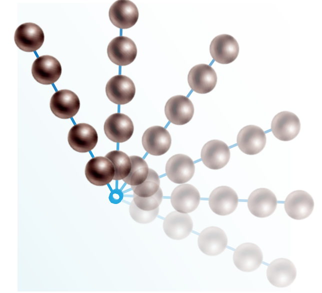
Cismin yarıçap vektörünün bir periyotluk zaman dilimi içinde taradığı açının radyan cinsinden değeri 2 · π'dir. Bu nedenle açısal hızın büyüklüğü

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \text{ veya } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

eşitliği ile ifade edilir.



Şekil 1.4: Dünya'nın kendi ekseni etrafında dönüşü



Şekil 1.5: Yatay düzlemde çembersel hareket yapan ipe dizili boncuklar

Çizgisel ve Açısal Hız İlişkisi

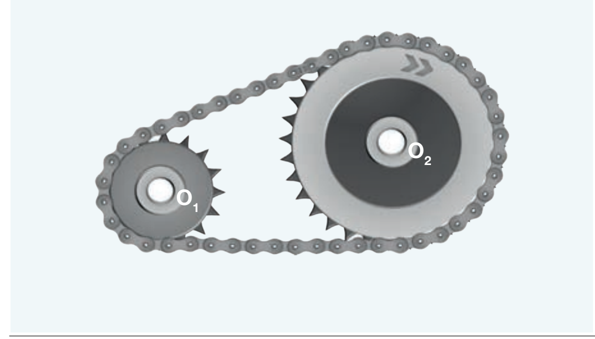
Çizgisel ve açısal hız eşitlikleri incelendiğinde bu iki büyüklük arasında

$$\vartheta = \omega \cdot r$$

bağıntısı olduğu görülür. Kendi ekseni etrafında dönüşü sırasında Dünya'nın üzerindeki tüm noktaların açısal hızı birbirine eşittir (Şekil 1.4). Ancak dönme eksenine uzak olan noktaların çizgisel hızı, yakın olan noktaların çizgisel hızından büyüktür.

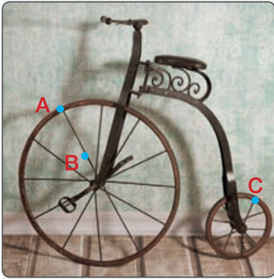
İpe dizilmiş boncukların yatay düzlemde bir merkez etrafında döndürülmesi esnasında bütün boncuklar, eşit zaman aralıklarında eşit açı taradıklarından eşit açısal hıza sahip olur (Şekil 1.5). Bununla birlikte boncukların dönme eksenine uzaklıkları farklı olduğundan en dıştaki boncuk en büyük çizgisel hıza sahiptir.

Şekil 1.6'da verilen birbirine zincirle bağlı dişliler, O_1 ve O_2 merkezlerinden geçen eksenler etrafında dönmektedir. Bu dişlilerin açısal hızları, tur sayıları ile doğru orantılıdır. Bu durumda küçük dişlinin açısal hızı, büyük dişlinin açısal hızından daha büyük olur. Zincirin temas ettiği noktaların çizgisel hızları eşit büyüklüktedir.



Şekil 1.6: Çembersel hareket yapan dişliler

SORU 2



İlk bisiklet, 1839 yılında İskoç bir demirci tarafından yapılmıştır. Sürücünün ayaklarını yere koymadan hareket edebilmesini sağlayan ve "velocipede" olarak adlandırılan bu araç, sonradan Türkçeye "velespit" olarak girmiştir.

Görselde verilen velespitin harekete geçtikten sonra tekerlekleri üzerinde yer alan A, B ve C noktalarının

a) açısal hız büyüklüklerini,

b) çizgisel hız büyüklüklerini karşılaştırınız.

ÇÖZÜM

a) Aynı tekerlek üzerinde yer alan noktalar eş merkezli olacağından A ve B noktalarının açısal hızları eşit olur. Küçük tekerleğin birim zamandaki tur sayısı daha fazla olacağından küçük tekerlek üzerinde yer alan C noktasının açısal hızı A ve B noktalarının açısal hızından büyüktür.

$\omega_C > \omega_A = \omega_B$

b) Tekerleklerin üzerinde yer alan A ve C noktalarının çizgisel hızları eşit büyüklüktedir. Büyük tekerlek üzerinde yer alan B noktası, A noktasına göre merkeze daha yakındır. Bu nedenle B noktasının çizgisel hızının büyüklüğü, A noktasına göre daha küçük olur.

$\vartheta_A = \vartheta_C > \vartheta_B$

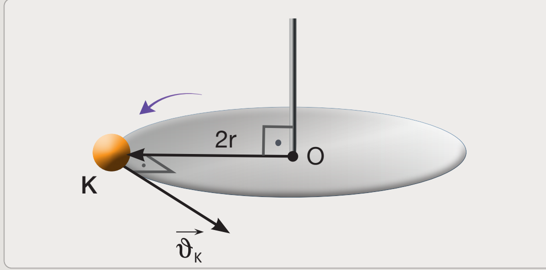
UYGULAMA » 3

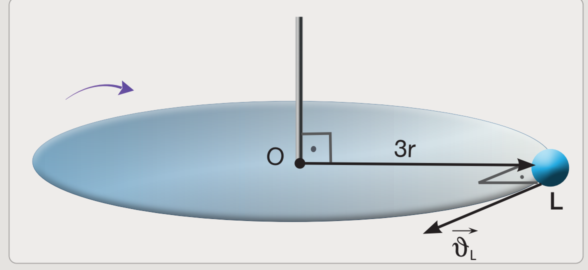
2r ve 3r yarıçaplı çembersel yörüngelerde düzgün çembersel hareket yapmakta olan K ve L cisimlerinin periyotları sırasıyla 3T ve 2T'dir.

Buna göre

a) Cisimlerin açısal hızlarının yönünü göstererek $\frac{\omega_K}{\omega_L}$ oranını bulunuz.

b) Cisimlerin çizgisel hız büyüklüklerinin $\frac{\vartheta_K}{\vartheta_L}$ oranını bulunuz.





Merkezcil İvme ($\vec{a}$)

Düzgün çembersel hareket yapmakta olan bir cismin hızının büyüklüğü değişmez. Ancak çembersel yörüngeden dolayı hızının yönü sürekli değişir. Bu yüzden cisim ivme kazanır. Hızdaki yön değişiminden kaynaklanan ve yönü her an çemberin merkezine doğru olan bu ivmeye **merkezcil ivme** denir.

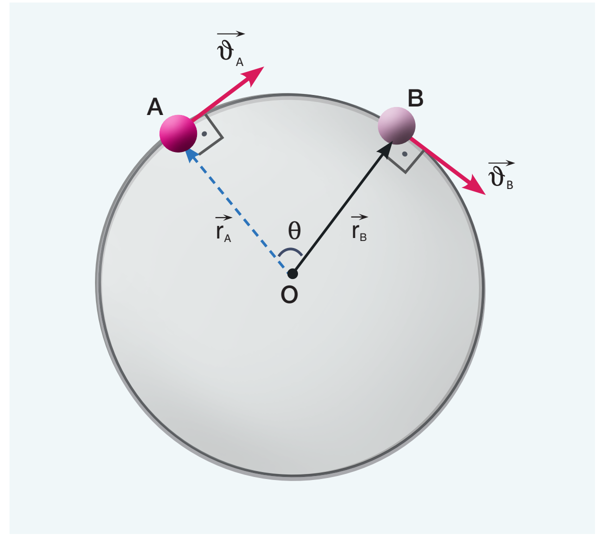
O merkezli, r yarıçaplı bir yörüngede düzgün çembersel hareket yapan bir cisim, Δt kadar sürede A noktasından B noktasına gelmektedir (Şekil 1.7: a). Bu cismin hız vektöründeki değişim,

$$\overrightarrow{\Delta\vartheta} = \vec{\vartheta}_B - \vec{\vartheta}_A$$

eşitliği ile konumundaki değişim ise

$$\overrightarrow{\Delta r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$$

eşitliği ile ifade edilir.



***Şekil 1.7: a)** Düzgün çembersel hareket yaparak A noktasından B noktasına gelen cismin yarıçap ve hız vektörleri*

Şekil 1.7: b'deki ikizkenar üçgenler benzerdir. A ve B noktalarındaki hız büyüklükleri için $|\vec{\vartheta}| = |\vec{\vartheta}_A| = |\vec{\vartheta}_B|$, yarıçap büyüklükleri için $|\vec{r}| = |\vec{r}_A| = |\vec{r}_B|$ olmak üzere ikizkenar üçgenlerin benzerliğinden

$$\frac{\Delta\vartheta}{\Delta r} = \frac{\vartheta}{r}$$

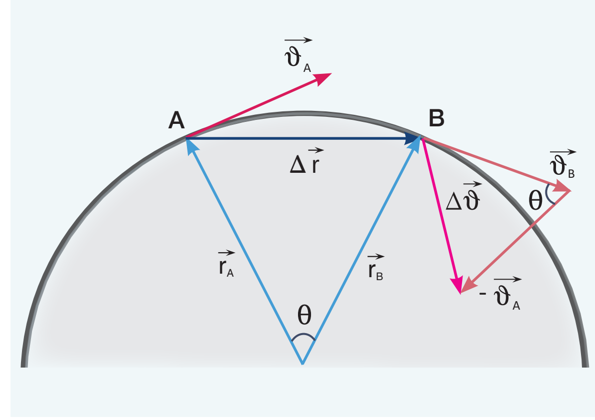
eşitliği elde edilir. Bu eşitlikten elde edilen

$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta}{r} \cdot \Delta r$ ifadesi $a = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t}$ de yerine yazılacak olursa

$a = \frac{\vartheta \cdot \Delta r}{r \cdot \Delta t}$ eşitliği bulunur. $\frac{\Delta r}{\Delta t} = \vartheta$ yazılırsa merkezcil ivmenin büyüklüğünü veren

$$a = \frac{\vartheta^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

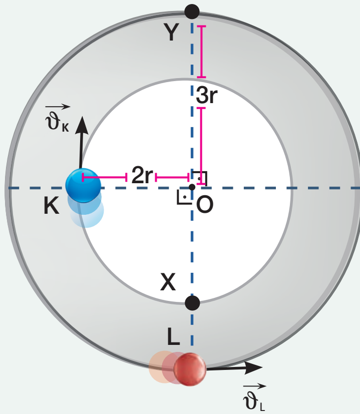
bağıntısına ulaşılır.



***Şekil 1.7: b)** Düzgün çembersel hareket yapan cismin konumundaki ve hızındaki değişim*

Merkezcil ivmenin SI'da birimi metre/saniye²dir (m/s²). Vektörel bir büyüklük olan merkezcil ivmenin yönü, daima çemberin merkezine doğrudur. Çizgisel hız, açısal hız ve merkezcil ivme vektörleri birbirine diktir. Yarıçap vektörü ile merkezcil ivme vektörü ise aynı doğrultuda ve zıt yönlüdür.

SORU 3



K ve L cisimleri; sürtünmesiz yatay düzlemde 2r ve 3r yarıçaplı, O merkezli çembersel yörüngelerde sabit süratle hareket ediyor. Şekildeki konumlarından aynı anda harekete başlayan iki cisimden K cismi X, L cismi Y noktasına aynı anda varıyor.

K ve L cisimlerinin çizgisel momentum büyüklükleri eşit olduğuna göre

a) K cisminin merkezcil ivmesinin büyüklüğü a_K, L cisminin merkezcil ivmesinin büyüklüğü a_L ise $\frac{a_K}{a_L}$ oranı kaçtır?

b) K cisminin kütlesi m_K, L cisminin kütlesi m_L ise $\frac{m_K}{m_L}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

a) K cismi 270⁰ açı taradığında L cismi 180⁰ açı taramış olur. Cisimlerin taradıkları açılar, frekansları dolayısıyla açısal hızları ile doğru orantılıdır. K cisminin açısal hızı $\omega_K = 3\omega$, L cisminin açısal hızı $\omega_L = 2\omega$ alınabilir.

Bu değerler $a = \omega^2 \cdot r$ bağıntısında yerine yazılıp oranlanacak olursa

$$\frac{a_K}{a_L} = \frac{(3\omega)^2 \cdot 2r}{(2\omega)^2 \cdot 3r} = \frac{18 \cdot \omega^2 \cdot r}{12 \cdot \omega^2 \cdot r} = \frac{3}{2}$$

sonucuna ulaşılır.

b) Cisimlerin çizgisel hızlarının oranı bulunup momentum büyüklükleri birbirine eşitlendiğinde

$$\frac{\vartheta_K}{\vartheta_L} = \frac{3\omega \cdot 2r}{2\omega \cdot 3r} = 1$$

$$|P_K| = |P_L|$$

$$m_K \cdot \vartheta = m_L \cdot \vartheta$$

$$m_K = m_L$$

$$\frac{m_K}{m_L} = 1$$

sonucuna ulaşılır.

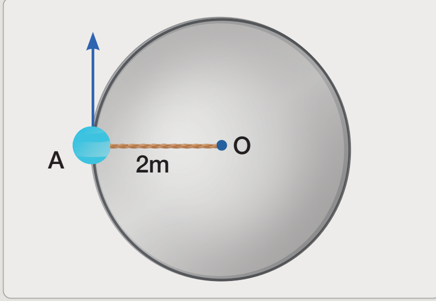
UYGULAMA » 4

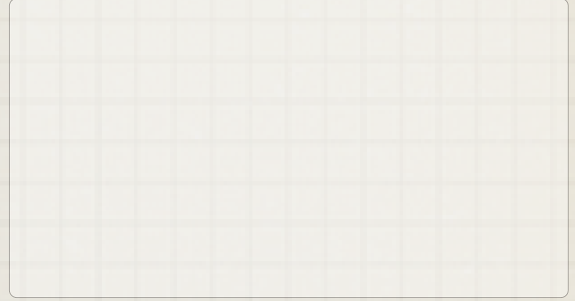
Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay bir düzlemde 2 m uzunluğundaki ipin ucuna bağlı cisme düzgün çembersel hareket yaptırılıyor.

Cismin hareket periyodu 12 s olduğuna göre

a) Harekete başladığı A noktasından itibaren 60^0 ve 180^0 açı tarayarak ulaştığı noktaları aşağıdaki şekil üzerinde göstererek hız vektörlerini çiziniz.

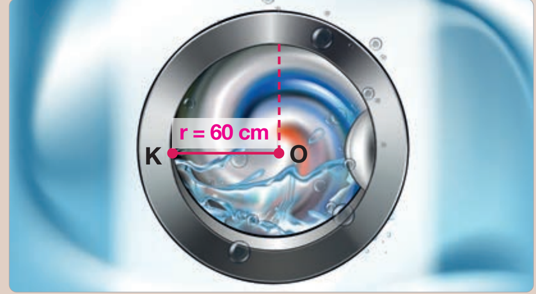
b) A noktasından itibaren 60^0 ve 180^0 açı tarayarak ulaştığı noktalardaki merkezcil ivme şiddetlerini bularak merkezcil ivme vektörlerinin yönlerini gösteriniz. (π = 3 alınız.)





UYGULAMA » 5

Deniz, yeni aldığı çamaşır makinesinin kullanım kılavuzunu incelerken makinenin tamburunun 60 cm yarıçapa sahip olduğunu ve dakikada 1200 devir yaptığını görüyor. Deniz, makineyi çalıştırdığında tamburun saat yönünde döndüğünü gözlemliyor.



Buna göre

a) Tamburun periyodunu ve frekansını hesaplayınız.

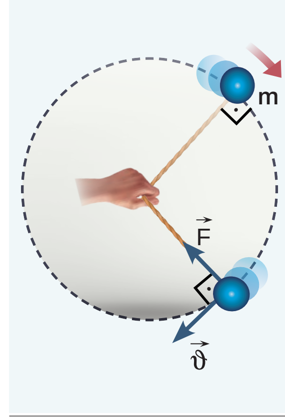
b) Tamburun açısal hızının büyüklüğünü hesaplayarak yönünü gösteriniz. ($\pi = 3$ alınız.)

c) Tambur üzerindeki K noktasının çizgisel hızının büyüklüğünü hesaplayarak vektörünü çiziniz.

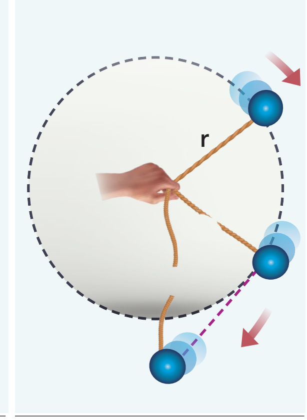
ç) Tambur üzerindeki K noktasının merkezcil ivmesinin şiddetini bularak yönünü gösteriniz.

1.1.2. Merkezcil Kuvvet ve Bağlı Olduğu Değişkenler

Şekil 1.8: a'da görüldüğü gibi r uzunluğunda bir ipin ucuna bağlı, yatay düzlemde sabit süratle dönmekte olan m kütleli bir cisim, eylemsizliğinden dolayı doğrusal bir yol boyunca hareket etme eğilimindedir. Ancak ipin cisme uyguladığı kuvvet, cismin çembersel yörüngede kalmasını sağlamaktadır. Yönü merkeze doğru ve daima hız vektörüne dik olan bu kuvvete **merkezcil kuvvet** denir. İpteki gerilme, merkezcil kuvvettir. Merkezcil ivme, merkeze yönelmiş bu net kuvvetin sonucudur. Newton'ın (Nivtın) İkinci Hareket Kanunu uygulanarak net kuvvetin değeri hesaplanır.



Şekil 1.8: a) Sürtünmesiz yatay düzlemde çembersel yörüngede dönen topun üstten görünüşü



Şekil 1.8: b) İp kopunca topun yörüngeye teğet hareketi

$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ modeli kullanılarak merkezcil kuvvetin büyüklüğünü veren

$$F_m = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

eşitliğine ulaşılır.

Merkezcil kuvvet, dönme merkezine doğru etki ettiğinden hız vektörünün yönünde değişime sebep olur. Şekil 1.8: b'de olduğu gibi ip koptuğunda cismin üzerine etki eden bu kuvvet ortadan kalkar. Bunun sonucunda cisim, çembersel hareketini sürdüremez ve çizgisel hız vektörü yönünde, çembersel yörüngeye teğet olan doğrusal bir yörüngede hareket eder.

Merkezcil kuvvet yeni bir kuvvet çeşidi olmayıp merkezcil ivmeye sebep olan sürtünme kuvveti, kütle çekim kuvveti, gerilme kuvveti, elektromanyetik kuvvet gibi kuvvetlerin genel adıdır. Merkezcil ifadesi, kuvvetin yönünün merkeze doğru olduğunu belirtmek amacıyla kullanılır. Örneğin Dünya'nın çevresinde çembersel bir yörüngede dolanmakta olan uydunun hareketinde kütle çekim kuvveti, döner tabla üzerindeki bir cismin ya da yatay yolda viraja giren bir aracın (Görsel 1.4) güvenli bir şekilde hareketini sürdürmesinde sürtünme kuvveti etkilidir. Manyetik alana dik olarak giren yüklü bir parçacığın çembersel bir yörünge izlemesinde manyetik kuvvet, hızla dönen kurutma makinesi tamburuna yapışmış olan bir çamaşırın (Görsel 1.5) kurumasında tambur tarafından uygulanan normal kuvvet etkili olur. Bu kuvvetler merkezcil kuvvet olarak adlandırılmaktadır.

Merkezcil kuvvet ve merkezcil kuvvetin bağlı olduğu değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için simülasyonda verilen adımları uygulayınız.



Görsel 1.4: Sürtünme kuvvetinin etkisiyle yatay virajı güvenli bir şekilde dönen yarış arabası



Görsel 1.5: Kurutma makinesi içinde merkezcil kuvvet etkisiyle kurutulan kıyafetler



SİMÜLASYON 1

Süre 20 dk.

Simülasyonun Adı	Merkezcil Kuvvet
Simülasyonun Amacı	Merkezcil kuvvetin bağlı olduğu değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.



Yönerge: Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız ve aşağıda verilen uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.

Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Yarıçap uzunluğunu 1 m, hız büyüklüğünü 1 m/s değerinde sabitleyip kütleyi sırasıyla 2 kg, 5 kg ve 7 kg olarak ayarlayınız.
2. Merkezcil kuvvet değerlerini verilen tabloya not ediniz.

Kütle (kg)	Yarıçap (m)	Hız (m/s)	Merkezcil Kuvvet (N)
2	1	1	
5	1	1	
7	1	1	

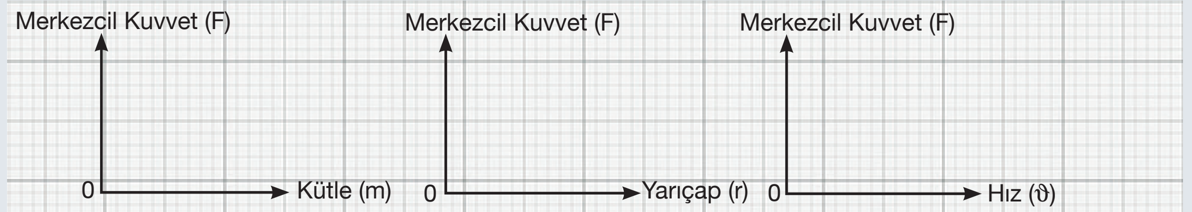
3. Kütleyi 1 kg, hız büyüklüğünü 1 m/s değerinde sabitleyip yarıçap büyüklüğünü sırasıyla 1 m, 2 m ve 3 m olarak ayarlayınız.
4. Merkezcil kuvvet değerlerini verilen tabloya not ediniz.

Kütle (kg)	Yarıçap (m)	Hız (m/s)	Merkezcil Kuvvet (N)
1	1	1	
1	2	1	
1	3	1	

5. Kütleyi 1 kg, yarıçap uzunluğunu 1 m değerinde sabitleyip hız büyüklüğünü sırasıyla 0,5 m, 1 m ve 2 m olarak ayarlayınız.
6. Merkezcil kuvvet değerlerini verilen tabloya not ediniz.

Kütle (kg)	Yarıçap (m)	Hız (m/s)	Merkezcil Kuvvet (N)
1	1	0,5	
1	1	1	
1	1	2	

7. Oluşturduğunuz tablolardan hareketle merkezcil kuvvet değerinin kütle, hız ve yarıçap değerlerine bağlı değişim grafiklerini çiziniz.



Simülasyonun Değerlendirmesi

1. Çizdiğiniz grafiklerden yola çıkarak merkezcil kuvvetin bağlı olduğu değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyiniz ve matematiksel bir model ortaya koyunuz.
2. Ortaya koyduğunuz matematiksel model ile bir önceki sayfada verilen matematiksel modelin uyuşup uyuşmadığını kontrol ediniz.

1.1.3. Düzgün Çembersel Hareket Yapan Cisimlerin Hareket Analizi

Günlük hayatta yatay ve düşey düzlemlerde düzgün çembersel hareket yapan birçok cisimle karşılaşılır. Bu düzlemlerde hareket eden cisimlerin hareket analizi ancak serbest cisim diyagramları çizilerek yapılır. Serbest cisim diyagramlarında o cisme etki eden tüm kuvvetler gösterilir.



Görsel 1.6: *Çembersel hareket yapan bir plak*



Görsel 1.7: *Sabit açısal hızla dönen atlıkarınca*

Yatay Düzlemde Düzgün Çembersel Hareket

Çocukların ayağına takıp çevirdiği hulahopun hareketi, bir pikaba takılan plağın hareketi (Görsel 1.6), düşey bir eksen etrafında sabit açısal hızla dönmekte olan bir atlıkarıncanın hareketi (Görsel 1.7) yatay düzlemde çembersel harekete örnek olarak gösterilebilir.

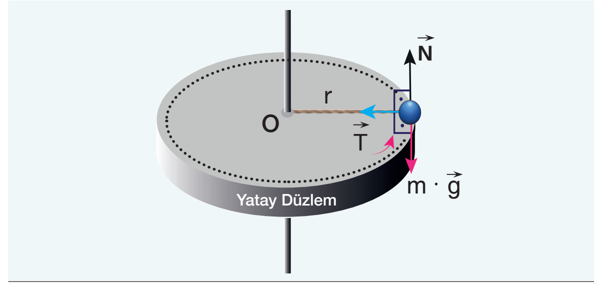
Sürtünmenin önemsenmediği yatay düzlemde m kütleli bir cisim, r uzunluğundaki ipin ucuna bağlı olarak düzgün çembersel hareket yapmaktadır. Bu hareket sırasında cisme etki eden kuvvetlerin yer aldığı serbest cisim diyagramı Şekil 1.9'da gösterilmiştir. İpte meydana gelen gerilme kuvveti ($\vec{T}$), cismi çembersel bir yörüngenin merkezine doğru çeken merkezcil kuvvettir. Bu nedenle ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü

$$T = F_m$$

$$T = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$$

$$T = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

şeklinde ifade edilir. Bu kuvvet, cismin hareketi süresince çembersel yörünge üzerindeki tüm noktalarda eşit büyüklüktedir. Yatay düzlem tarafından cisme uygulanan normal kuvvet (N), yer çekimi kuvvetiyle ($m \cdot g$) eşit büyüklüktedir.



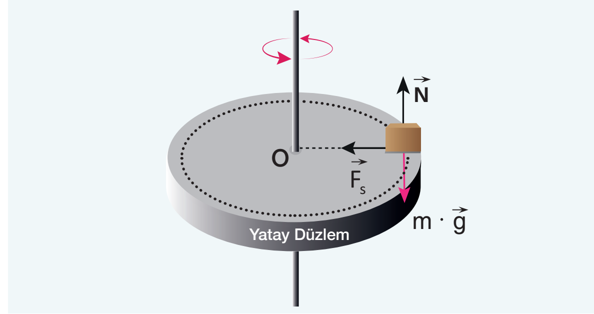
Şekil 1.9: *Sürtünmesiz yatay düzlemde çembersel hareket yapan cisim için serbest cisim diyagramı*

Sabit bir eksen etrafında ve sabit $\vec{\omega}$ açısal hızı ile yatay sürtünmeli bir düzlem üzerinde Şekil 1.10'daki gibi düzgün çembersel hareket yapan bir cisim için merkezcil kuvvet sürtünme kuvvetidir. Bu kuvvetin büyüklüğü

$$F_s = F_m$$

$$F_s = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 1.10: *Sürtünmeli yatay düzlemde kaymadan dönen cisim için serbest cisim diyagramı*

Sabit açısal hızla dönmekte olan lunapark zincirli salıncağında oturan bir kişi, yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yapar (Görsel 1.8).



Görsel 1.8: *Lunapark zincirli salıncağı*

Şekil 1.11'de bu kişinin oturduğu koltuk için serbest cisim diyagramı çizilmiştir.

Sistem denge hâlindeyken $\vec{T}$ zincirdeki gerilme kuvvetini, $\vec{G}$ ise cismin ağırlığını gösterir. Zincirdeki gerilmenin düşey bileşeni (T_Y), toplam ağırlığı (G) dengelerken zincirdeki gerilmenin yatay bileşeni (T_X) merkezcil kuvveti oluşturur.

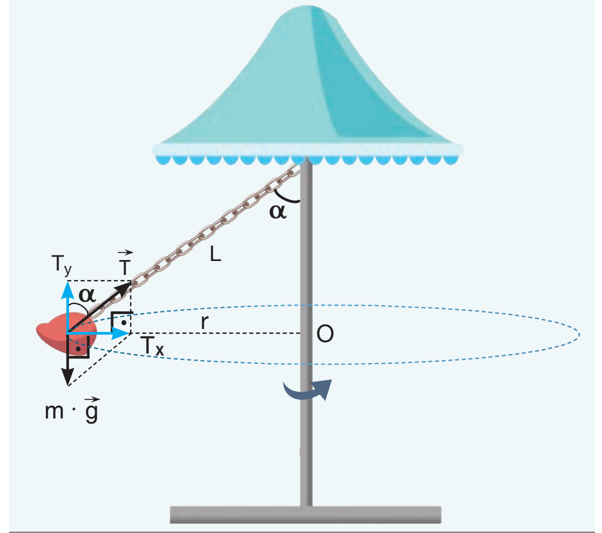
$T_y = T \cdot \cos\alpha = m \cdot g$

$T_x = T \cdot \sin\alpha = F_m$

Burada α zincirin hareket sırasında düşeyle yaptığı açıdır. Zincirin boyu (L) ve yarıçapı (r) arasında

$r = L \cdot \sin\alpha$

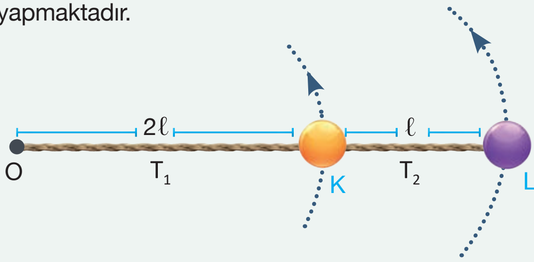
eşitliği vardır.



Şekil 1.11: Yatay düzlemde çembersel hareket yapan cisim için serbest cisim diyagramı

SORU 4

Sürtünmesiz yatay düzlemde aynı ip üzerindeki m_K ve m_L kütleli K ve L cisimleri düzgün çembersel hareket yapmaktadır.



İpteki gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri oranı $\frac{T_1}{T_2} = \frac{5}{3}$ olduğuna göre $\frac{m_K}{m_L}$ oranı nedir?

ÇÖZÜM

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{m_K \cdot \omega^2 \cdot 2\ell + m_L \cdot \omega^2 \cdot 3\ell}{m_L \cdot \omega^2 \cdot 3\ell}$$

$$\frac{5}{3} = \frac{2m_K + 3m_L}{3m_L}$$

$$5m_L = 2m_K + 3m_L$$

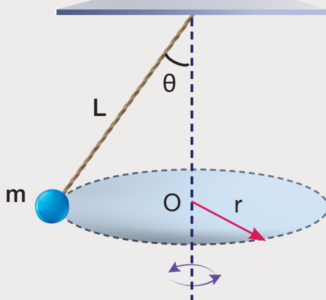
$$2m_L = 2m_K$$

$$\frac{m_K}{m_L} = 1$$

UYGULAMA » 6

L uzunluğunda bir iple tavana asılı m kütleli bir cisim, r yarıçaplı yatay çembersel bir yörüngede sabit süratle dönmektedir.

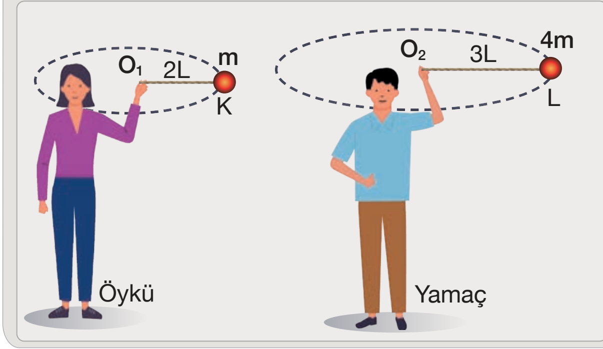
Bu cismin serbest cisim diyagramını çizerek çizgisel (ϑ) ve açısal (ω) hız büyüklüklerini veren bağıntıları çıkarınız.



UYGULAMA » 7

Öykü ile Yamaç, şekildeki gibi 2L ve 3L uzunluğundaki iplerin uçlarına bağladıkları m ve 4m kütleli cisimlerin yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yapmasını sağlıyor.

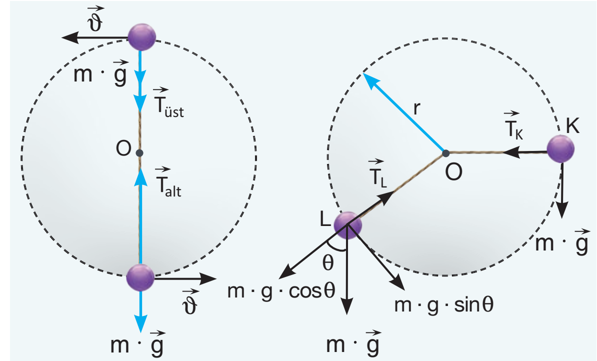
Bu cisimlerin kinetik enerjileri eşit olduğuna göre m kütleli K ve 4m kütleli L cismine etki eden merkezcil kuvvetlerin büyüklüklerinin F_K/F_L oranı kaçtır? (Yer çekimi ve hava direncinden kaynaklı etkiler ihmal edilmiştir.)



Düşey Düzlemde Düzgün Çembersel Hareket

Bir ipin ucuna bağlı, düşey düzlemde sabit $\vec{\vartheta}$ hızıyla hareket eden bir cisme aynı düzlemde ve cismin hızına dik, sabit büyüklükte net bir kuvvet etki eder. Bu kuvvet, cismin düzgün çembersel hareket yapmasını sağlar.

Cisme çembersel yörünge üzerindeki farklı noktalarda etki eden kuvvetleri içeren serbest cisim diyagramları Şekil 1.12: a ve b'de gösterilmiştir.



Şekil 1.12: a) Düşey düzlemde ip gerilmesinin en büyük ve en küçük olduğu durumlar

Şekil 1.12: b) Düşey düzlemde çembersel hareket yapan bir cisme etki eden kuvvetler

- Cisim, çembersel yörüngenin en üst noktasından geçerken cisme etki eden merkezcil kuvvetin büyüklüğü $F_m = T_{üst} + m \cdot g$ olur. Cisim, bu noktadan geçerken ipte oluşan gerilme kuvveti en küçük değerini alır.
- Cisim, K noktasından geçerken cismi hareketin merkezine doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü $F_m = T_K$ ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğüne eşittir.
- Cisim, çembersel yörüngenin en alt noktasından geçerken cismi merkeze doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü $F_m = T_{alt} - m \cdot g$ olur. Cisim, bu noktadan geçerken ipte oluşan gerilme kuvveti en büyük değerini alır.
- Cisim, L noktasından geçerken cismi merkeze doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü $F_m = T_L - m \cdot g \cdot \cos\theta$'dır.

UYGULAMA » 8

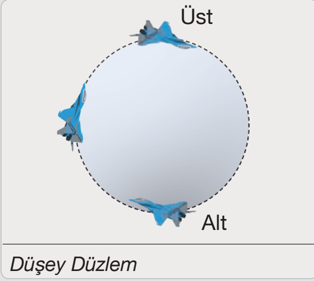
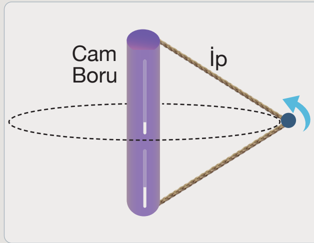
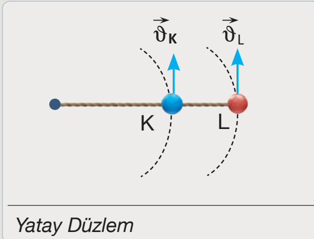
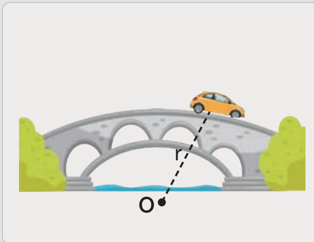
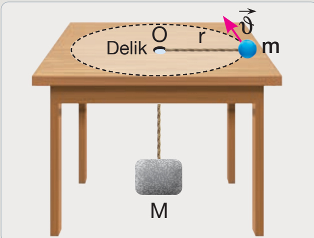
Astronotları uzaydaki yer çekimsiz ortama hazırlamak için yandaki görselde verilen parabolik uçuş yöntemi kullanılır. Bu uçuşlarda astronotlar, uçağın içinde yaklaşık otuz saniye boyunca kendilerini ağırlıksız hissederler.

Sizce bu durumun sebepleri neler olabilir? Açıklayınız.



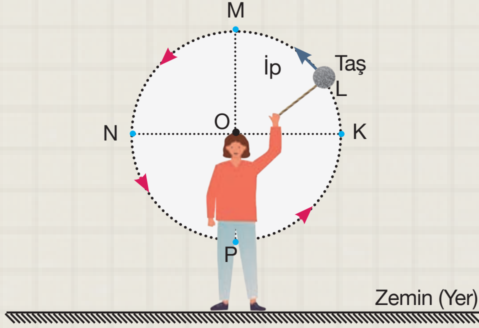
UYGULAMA » 9

Aşağıdaki görsellerde yatay ve düşey düzlemlerde düzgün çembersel hareket yapan cisimlere örnekler verilmiştir. Bu cisimlere ait serbest cisim diyagramlarını çiziniz.

Düzenek	Serbest Çizim Diyagramı
 *Düşey Düzlem*	*Yörüngenin alt noktasında pilota etki eden kuvvetler* / *Yörüngenin üst noktasında pilota etki eden kuvvetler*
	
 *Yatay Düzlem*	
	
	

UYGULAMA » 10

Özgü, sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda bir ipin ucuna bağladığı 2 kg kütleli bir taşı, 2 metre yarıçaplı düşey düzlemde, periyodu 0,6 saniye olacak şekilde sabit açısal süratle döndürüyor.



a) L noktasından geçerken taşın konum, çizgisel hız, açısal hız ve merkezcil ivme vektörlerini çiziniz.

b) Düşey düzlemde çembersel hareket yapmakta olan taşın açısal ve çizgisel hız büyüklüklerini hesaplayınız. ($\pi = 3$ alınız.)

c) Taş N noktasından geçerken taşın merkezcil ivmesini ve bu noktadaki ip gerilmesini hesaplayınız.

ç) Özgü, ipin ucunu hangi noktalarda bırakırsa taş tek boyutta hareket eder?

d) Özgü, ipin ucunu hangi noktalarda bırakırsa taş iki boyutta hareket eder?

e) Özgü, taş M noktasından geçerken ipin ucunu bırakırsa taş yatayda kaç metre yol alarak yere düşer?
(P noktası yerden 1 metre yüksekliktedir.)

f) En büyük ip gerilmesinin en küçük ip gerilmesine oranını hesaplayınız. ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

g) Taşın K ve M noktaları arasındaki yer değiştirmesi kaç metredir?

ğ) Taşın K ve N noktaları arasındaki çizgisel hız değişiminin büyüklüğü kaç m/s'dir?

1.1.4. Araçların Emniyetli Dönüş Şartları

Kara yollarında araçların güvenliğini sağlamak için kullanılan trafik uyarı levhalarından bazıları yandaki görsellerde verilmiştir. Görsel 1.9'da ileride sağa tehlikeli viraj, Görsel 1.10'da ise ileride ilki sola olmak üzere birbirini izleyen tehlikeli virajlar olduğu bildirilmektedir. Bu uyarı levhalarını gören sürücüler, virajın yapısı hakkında bilgi sahibi olur. Böylece araçlarının konum ve süratini virajı emniyetli bir şekilde dönmek için uygun hâle getirir.



Görsel 1.9: *Sağa tehlikeli viraj*



Görsel 1.10: *Sola tehlikeli devamlı viraj*

Yatay Zemin

Görsel 1.11'de görüldüğü üzere viraj girişlerine bir aracın, virajı emniyetli bir şekilde dönebilmesi için gidebileceği en yüksek sürat değerini gösteren azami sürat levhaları konur. Bu levhalarda belirtilen sürat değeri, fizik yasaları dikkate alınarak hesaplanır.



Görsel 1.11: *Viraj azami sürat levhası*

Sabit bir hızla doğrusal yolda ilerlemekte olan bir araç, yatay viraja girdiği andan itibaren statik sürtünme kuvvetinin etkisinde kalmaya başlar. Bu kuvvet, aracın hız vektörüne dik doğrultudadır. Tekerleklerle zemin arasında oluşan sürtünme kuvveti, bu araca etki eden merkezcil kuvvettir (Şekil 1.13).

Aracın yatay virajı güvenle dönebildiği denge durumu için

$$F_s = F_m$$

olmalıdır. Bu eşitlik düzenlenerek

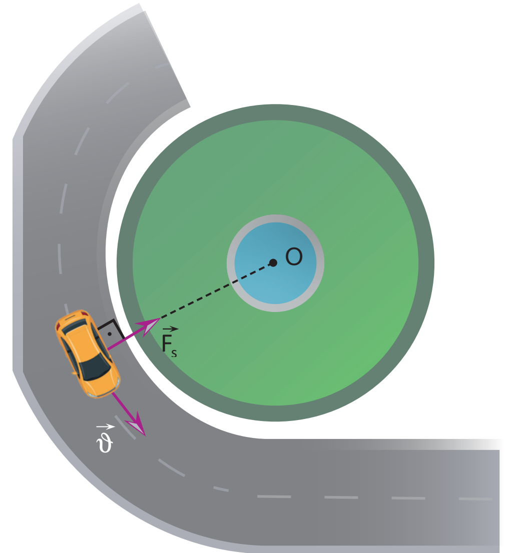
$$k \cdot m \cdot g = m \cdot \frac{\vartheta_{max}^2}{r}$$

şeklinde yazılacak olursa aracın virajı güvenle dönebileceği en büyük sürat değerini veren

$$\vartheta_{max} = \sqrt{k \cdot g \cdot r}$$

bağıntısına ulaşılır.

Aracın sürati sınır değerden büyük ise araç, virajda savrulur. Bağıntıdan da anlaşılacağı üzere bu sürat değeri, yüzeyle aracın tekerlekleri arasındaki sürtünme katsayısına (k), yer çekimi ivmesinin büyüklüğüne (g) ve virajın yarıçapına (r) bağlı iken aracın kütlesinden bağımsızdır. Bu nedenle otoyollarda araç türlerine göre sürat limiti levhaları bulunurken viraj girişlerinde tüm araçlar için tek bir sürat limit levhası yer alır.



Şekil 1.13: *Yatay virajı güvenle dönen araç*

SORU 5

1600 kg kütleli bir araba, yatay bir yolda sabit süratle ilerlerken 80 m yarıçaplı bir viraja girmektedir.

Yol ile tekerlekler arasındaki statik sürtünme katsayısı 0,5 olduğuna göre

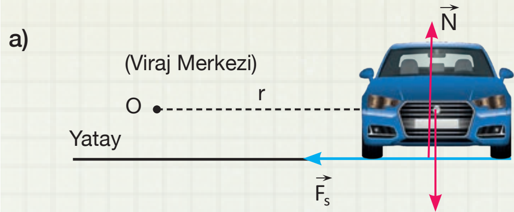
a) **Arabanın serbest cisim diyagramını çizerek virajın girişine konacak azami sürat levhasında yazan değeri km/h cinsinden hesaplayınız.**
(g = 10 m/s² alınız.)

b) **Arabanın buzlu bir yolda ilerlerken bu virajda takip edebileceği yolu çiziniz.** (Yol ile tekerlekler arasındaki statik sürtünme kuvveti ihmal edilmiştir.)

c) Yağışlı bir günde aynı yolda ilerlemekte olan aracın virajda kayma sürat sınırı 36 km/h'tir.
Aracın izleyebileceği yolu çizerek kayma sınırındaki statik sürtünme katsayısını bulunuz.
(g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

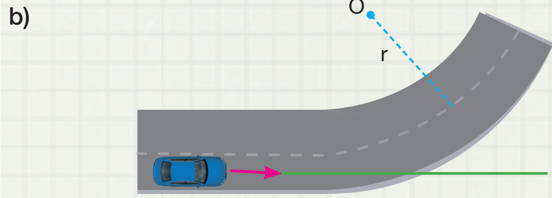
a)



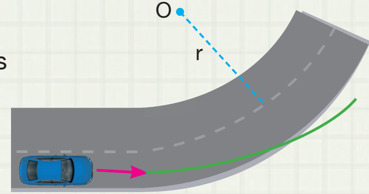
$$\vartheta_{max} = \sqrt{k \cdot g \cdot r}$$

$$\vartheta_{max} = \sqrt{0,5 \cdot 10 \cdot 80} = 20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$$

b)



c)



36 km/h = 10 m/s

$$\vartheta^2_{max} = k \cdot g \cdot r$$

$$100 = k \cdot 10 \cdot 80$$

$$k = \frac{1}{8} = 0,125$$

UYGULAMA » 11

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından viraj girişlerine azami sürat levhaları konmaktadır. Sürücüler, güvenli bir dönüş için bu levhalarda km/h cinsinden belirlenmiş azami sürat değerini aşmamalıdır. Statik sürtünme katsayısının 0,5 olduğu yatay bir viraja giren araç sürücüsü, resimdeki uyarı levhasını görüyor.

Bu virajın eğrilik yarıçapı en az kaç metredir?
(g = 10 m/s² alınız.)



Eğimli Zemin

Mühendisler, kötü hava ve zemin koşullarını göz önünde bulundurarak araçların savrulmadan dönebileceği eğimli yollar tasarlar. Burada amaç araçların belirli hızlarla kaymadan virajı dönebilmesidir. Görsel 1.12'de görüldüğü gibi bisiklet yarışı yapılan veledromlar ya da araba yarışı yapılan Nascar ve Formula 1 pistleri, araçların güvenliği ve izleyicilerin seyir zevki düşünülerek eğimli yapılır. Eğimli olmayan virajlarda merkezcil kuvvet, yol ile araba arasındaki sürtünme kuvveti tarafından oluşturulurken eğimli yollarda ve pistlerde viraja verilen eğim, aracın yörünge yarıçapını korumasını sağlar.



Görsel 1.12: *Veledromda yapılan bir bisiklet yarışı*

Şekil 1.14'te olduğu gibi yatayla θ açısı yapacak şekilde tasarlanmış eğimli bir yolda araca etki eden normal kuvvet $\vec{N}$ ve aracın ağırlığı $\vec{G}$'dir. $\vec{N}$ normal kuvvetinin yatay bileşeni (N_x), aracın hareket ettiği virajın merkezine yönelmektedir. Burada merkezcil kuvvet, N_x tarafından oluşturulmaktadır. Böylece araç, herhangi bir sürtünme kuvvetine ihtiyaç duymadan virajı güvenli bir şekilde dönebilmektedir. Normal kuvvetin y eksenindeki bileşeni (N_y) ise aracın ağırlığına eşit büyüklüktedir.

$$N_x = N \cdot \sin\theta = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$$

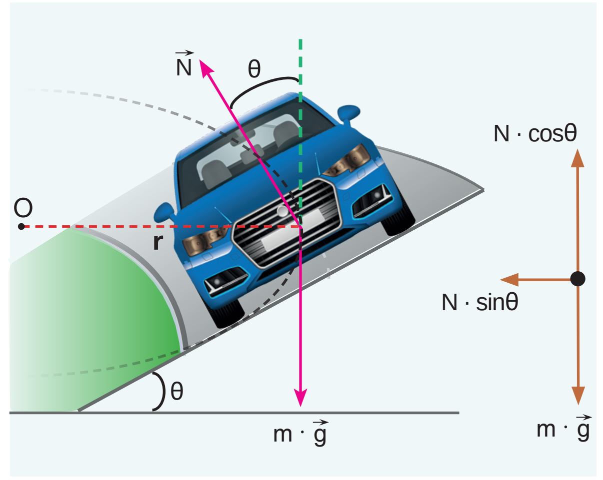
$$N_y = N \cdot \cos\theta = m \cdot g$$

eşitlikleri yazılarak bu iki eşitlik oranlanırsa

$$\frac{N \cdot \sin\theta}{N \cdot \cos\theta} = \frac{m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}}{m \cdot g} \Rightarrow \tan\theta = \frac{\vartheta^2}{r \cdot g}$$

$$\vartheta = \sqrt{g \cdot r \cdot \tan\theta}$$

sonucuna ulaşılır. Bu denklemden elde edilen hız değeri, eğimli ve sürtünmesiz bir yolda aracın virajı güvenli bir şekilde dönebileceği değerdir ve aracın kütlesinden bağımsızdır. Aracın hızı ϑ değerinden büyük olduğunda araç, eğik düzlemin yukarı, küçük olduğunda eğik düzlemin aşağı tarafına doğru kayar.



Şekil 1.14: *Eğimli virajı dönen araç*

SORU 6

Bir araç, tekerleklerle zemin arasındaki statik sürtünme katsayısı 1/3 olan r yarıçaplı yatay bir virajı en fazla 20 m/s hızla güvenli olarak dönebilmektedir.

Aynı araç, eğim açısı 37⁰ olan r yarıçaplı sürtünmesiz bir virajı kaç m/s hızla güvenli olarak dönebilir?

($\sin 37^0 = 0{,}6$; $\cos 37^0 = 0{,}8$; $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

Yatay viraj için

$$\vartheta^2 = k \cdot g \cdot r$$

$$400 = \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot r$$

$r = 120$ m bulunur.

Eğimli viraj için

$$\vartheta^2 = \tan\alpha \cdot g \cdot r$$

$$\vartheta^2 = \frac{3}{4} \cdot 10 \cdot 120$$

$$\vartheta^2 = 900$$

$\vartheta = 30\ m/s$ bulunur.

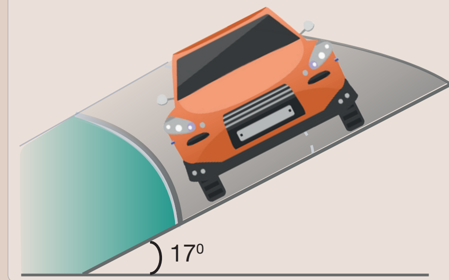
UYGULAMA » 12

Sürtünmesi ihmal edilebilecek kadar düşük, eğimli bir viraja giren aracın sürat göstergesi yanda verilmiştir.

Araç, virajı güvenli bir şekilde dönebildiğine göre virajın yarıçapı kaç metredir?

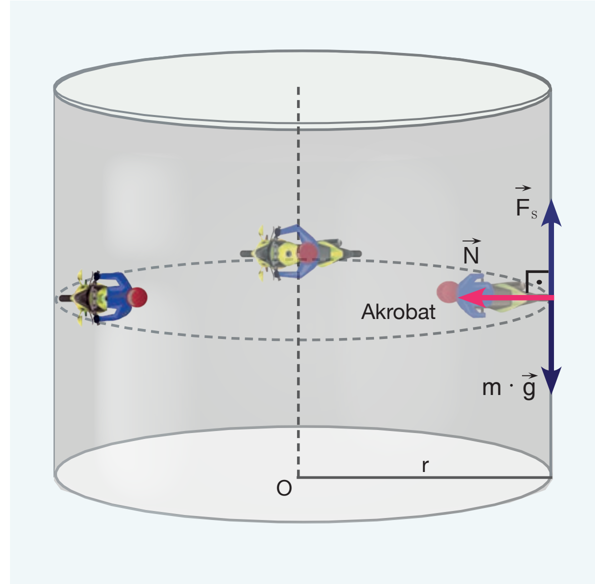
($g = 10\ m/s^2$, $\tan 17^0 = 0,3$ alınız.)





Düşey Zemin

Gösteri merkezleri ve eğlence parklarında motosikletli akrobatların silindirik bir boşluğun duvarında nasıl olup da düşmeden dönebildiği (Şekil 1.15) izleyicilerin kafasında soru işareti oluşturmaktadır. Motosikletli akrobata düzgün çembersel hareket yaptıran kuvvet, zeminin motosiklete uyguladığı tepki kuvvetidir ($\vec{N}$). Silindir içinde motosikletli akrobatın düşmeden dönebilmesi için Şekil 1.15'teki motosikletin ve akrobatın ağırlıkları toplamı, motosiklet tekerlekleriyle silindir yüzeyi arasında oluşan statik sürtünme kuvvetinin maksimum değerini geçmemelidir. Bu durumda motosikletin ve akrobatın ağırlığı, sürtünme kuvvetiyle dengelenir ve motor aşağıya kaymadan döner. Motosikletin akrobat dâhil toplam kütlesi m, çizgisel hızının büyüklüğü ϑ ve silindirin duvarı ile motosiklet arasındaki statik sürtünme katsayısı k olmak üzere



Şekil 1.15: Silindirin duvarında dönen motosikletli akrobat

$$F_s = k \cdot N$$

$$N = F_m$$

$$F_s = k \cdot F_m = m \cdot g$$

$$k \cdot m \cdot \frac{\vartheta^2}{r} = m \cdot g$$

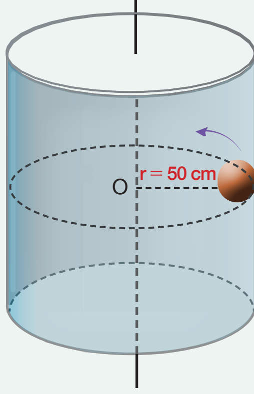
$$\vartheta^2 = \frac{g \cdot r}{k}$$

$$\vartheta = \sqrt{\frac{g \cdot r}{k}}$$ eşitliğine ulaşılır.

Burada bulunan hız değeri, güvenli dönüş için cismin sahip olması gereken en küçük değerdir. Bu hız değerinin altında cisim, düşey eksende aşağıya doğru kaymaya başlar. Bu değerler kütleden bağımsızdır.

SORU 7

2 kg kütleli bir cisim, silindirik bir boşluğun düşey duvarında, 50 cm yarıçaplı yörüngede düşmeden sabit süratle dönmektedir.



Cisim ile silindirin duvarı arasındaki statik sürtünme katsayısı 0,8 olduğuna göre

a) cismin açısal hızının minimum değerini,
b) cismin çizgisel hızının minimum değerini,
c) cismin merkezcil ivmesinin büyüklüğünü,
ç) serbest cisim diyagramını çizerek cisme etki eden merkezcil kuvvet büyüklüğünü hesaplayınız.

(g = 10 m/s², π = 3 alınız.)

ÇÖZÜM

a) $F_s = k \cdot N$

$N = F_M = m \cdot \omega^2 \cdot r$

$F_s = G$

$k \cdot m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot g$

$k \cdot \omega^2 \cdot r = g$

$0,8 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot 0,5 = m \cdot 10$

$\omega^2 = 25$

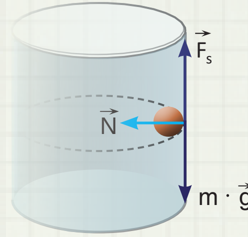
$\omega = 5$ rad/s

b) $\vartheta = \omega \cdot r$

$\vartheta = 5 \cdot 0,5 = 2,5$ m/s

c) $a = \omega^2 \cdot r = 5^2 \cdot 0,5 = 12,5$ m/s^2

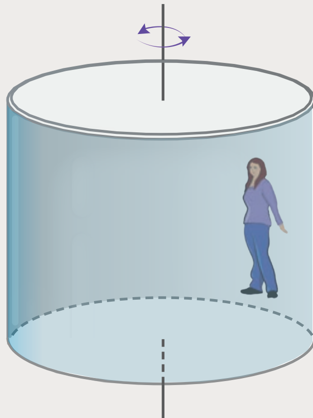
ç) $F = m \cdot a = 2 \cdot 12,5 = 25$ N



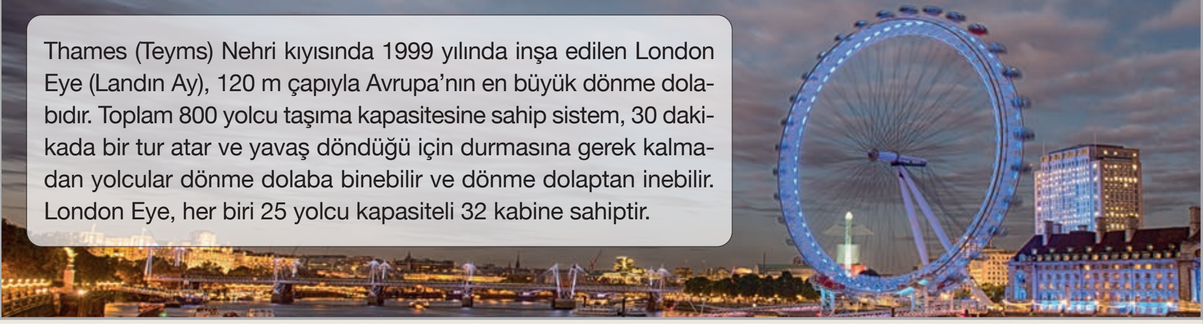
UYGULAMA » 13

Bir eğlence parkındaki 5 m yarıçaplı düşey bir silindir, kendi ekseni etrafında, içindeki kişinin düşey yüzeyde güvenli bir şekilde düşmeden durmasına yetecek büyüklükte bir açısal hızla dönmektedir.

Düşey zemin ile kişi arasındaki statik sürtünme katsayısı 0,5 olduğuna göre silindir bir dakikada kaç tur atmaktadır? Silindirin açısal hızı artırıldığında içindeki kişinin denge durumunda bir değişiklik meydana gelir mi? Açıklayınız. (g = 10 m/s², π = 3 alınız.)



UYGULAMA » 14



Thames (Teyms) Nehri kıyısında 1999 yılında inşa edilen London Eye (Landın Ay), 120 m çapıyla Avrupa'nın en büyük dönme dolabıdır. Toplam 800 yolcu taşıma kapasitesine sahip sistem, 30 dakikada bir tur atar ve yavaş döndüğü için durmasına gerek kalmadan yolcular dönme dolaba binebilir ve dönme dolaptan inebilir. London Eye, her biri 25 yolcu kapasiteli 32 kabine sahiptir.

Yolcuların kütle merkezinin dönme eksenine uzaklığı daima sabit kaldığına göre

a) London Eye'ın frekansı kaç s^{-1}'dir?

b) London Eye'ın kabinlerinden birinin açısal ve çizgisel hız büyüklüklerini hesaplayınız. ($\pi = 3$ alınız.)

c) Kabindeki bir yolcuya etki eden merkezcil ivmenin büyüklüğünü hesaplayınız.

ç) 75 kg kütleli bir yolcuya yörüngenin en alt noktasında koltuğun uygulayacağı kuvvetin büyüklüğünü hesaplayınız. ($g = 10$ m/s² alınız.)

UYGULAMA » 15

Düzgün çalışan analog bir duvar saatinde L uzunluğunda akrep, 2L uzunluğunda yelkovan ve 2L uzunluğunda saniye göstergesi bulunmaktadır.



Bu gösterge kollarından

a) Saniye göstergesinin periyodu T kabul edilirse yelkovan ve akrebin periyodu kaç T olur?

b) Akrebin açısal hızının büyüklüğü ω kabul edilirse yelkovan ve saniye göstergesinin açısal hızlarının büyüklüğü kaç ω olur?

c) Akrebin uç noktasının çizgisel hızının büyüklüğü ϑ kabul edilirse yelkovan ve saniye göstergesinin uç noktalarının çizgisel hızlarının büyüklüğü kaç ϑ olur?

ç) Akrebin uç noktasının merkezcil ivme büyüklüğü a kabul edilirse yelkovanın uç noktasının merkezcil ivme büyüklüğü kaç a olur?

ETKİNLİK 1	Süre 30 dk.
Etkinliğin Adı	Güvenli Viraj Tasarımı
Etkinliğin Amacı	Trafik kazalarının sıkça gerçekleştiği virajları daha güvenli hâle getirecek tasarımlar yapabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarında verilen adımları takip ederek etkinliği gerçekleştiriniz. Etkinliği tamamladıktan sonra "Etkinliğin Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.

Aras, son yıllarda sayıca artan trafik kazalarına dikkat çekmek için yaptığı araştırmalardan ve okuduğu gazete haberlerinden yola çıkarak bir pano hazırlıyor. Araştırma sürecinde bazı virajlarda, diğer yol ve virajlara oranla daha çok trafik kazasının meydana geldiğini fark ediyor.

TÜRKİYE'DE YOL GÜVENLİĞİ

Kaygan Zemin Virajda Kazaya Yol Açtı!



Kar yağışı nedeniyle kayganlaşan yolda savrulup karşı şeride geçen araç kazaya yol açtı.

Keskin Viraj Kaza Yaptırdı!



Keskin viraja hızlı giren araç sürücüsünü emniyet kemeri kurtardı.

Viraja Hızlı Girince Kaza Yaptı



Viraja hızlı giren kamyonet takla attı! Kazada şans eseri yaralanan olmadı. Araç sürücülerinin sürekli kaza yaptığı virajda bariyer çalışması başlatıldı!

İsyan Ettiren Tehlikeli Viraj Tarih Oluyor!



Birçok virajdan oluşan kara yolundaki 45 dakikalık zorlu yolculuk, tünel projesinin tamamlanması ile 5 dakikaya düşüyor.

Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Üçer kişilik gruplar oluşturunuz.
2. "Türkiye'de Yol Güvenliği" başlığı altında verilen metinleri okuyup görselleri inceleyiniz.
3. Yukarıdaki virajlarda kaza olmasının temel nedenlerini belirleyip not ediniz.
4. Bu virajlarda kaza olmasını engellemek için ne gibi önlemler alınabileceğini tartışınız.
5. Belirlediğiniz önlemleri not ediniz.
6. Güvenli viraj tasarımına yönelik bir taslak oluşturunuz.
7. Oluşturduğunuz güvenli viraj tasarımını A4 kâğıdına çiziniz.
8. Tasarımınızın kazaların önlenmesine nasıl bir katkısı olacağını bir sunum yaparak sınıf arkadaşlarınızla paylaşınız.

Etkinliğin Değerlendirmesi

1. Diğer grupların hazırladığı viraj tasarımlarıyla karşılaştırdığınızda tasarımınızın güçlü ve zayıf yönleri nelerdir? Açıklayınız.

2. Çalışmanızı yaparken ne gibi zorluklarla karşılaştınız?

2. BÖLÜM

1.2. DÖNEREK ÖTELEME HAREKETİ



Anahtar Kavramlar

Eylemsizlik Momenti



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde dönme ve öteleme hareketi yapan cisimlerin hareketleri karşılaştırılacak, dönme hareketine etki eden eylemsizlik momenti kavramı üzerinde durulacak ve dönerek öteleme (yuvarlanma) hareketi yapan cisimlerin kinetik enerjilerinin hangi niceliklere bağlı olduğu anlatılacaktır.



RÜZGÂRIN YIKICI GÜCÜ: HORTUM



Havadaki basınç değişimleri sonucunda kendi etrafında dönerek ilerleyen rüzgârlara **hortum** denir. Hortumların yapısı, genellikle bir huniye benzer özellikler göstermektedir. Yere yakın dar kısım, hortumun en kuvvetli dönme bölgesidir. Hortumun içindeki rüzgârlar saatte yaklaşık 400 kilometrelik hıza ulaşabilmektedir.

Hortumlar, yüksek dönme hızlarına ulaşarak maddi zararlara (binalarda, üretim tesislerinde, enerji iletim hatlarında vb.), yaralanmalara hatta can kayıplarına neden olabilmektedir.

Hortumlar, yılın herhangi bir zamanında dünyanın hemen hemen her yerinde meydana gelebilir. Özellikle bahar aylarında ABD ve Arjantin'de hortumların görülme sıklığı fazladır. Dünyada meydana gelen hortumların yaklaşık %75'i Kuzey Amerika'da ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde ise hortumlarla en çok Antalya Körfezi'nde karşılaşılmaktadır. Bu bölge, Avrupa'nın en çok hortum görülen bölgesidir.

Ülkemizde 1818 yılından bugüne kadar 700'den fazla hortum tespit edilmiştir. İstatistiklere göre ülkemizde yılda ortalama 50 hortum meydana gelmektedir. İklim değişikliğinin etkisiyle hortumların görülme sıklığı artma eğilimindedir. 2019 yılında Antalya'da yaşanan hortum felaketinde 2 kişi hayatını kaybetmiş, 15 kişi yaralanmış; 36 konut ağır, 391 konut hafif hasar almıştır.



HAZIRLIK SORULARI

1. Ülkemizde hortumların en sık görüldüğü bölge neresidir?
2. Hortumların yere yakın dar kısmında dönme hızının diğer kısımlarına göre daha kuvvetli olmasının sebebi ne olabilir?
3. Basit malzemeler kullanarak yapay bir hortum oluşturmak için nasıl bir düzenek kurmanız gerekir?

1.2.1. Öteleme ve Dönme Hareketi

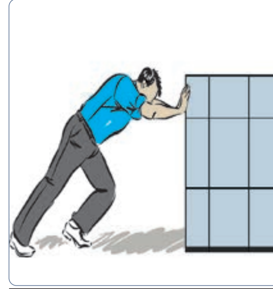
Fizikte öteleme, dönme ve titreşim hareketi olmak üzere üç temel hareket vardır. Bir cismin, kütle merkezinin hareket doğrultusuna paralel yönde yer değiştirmesine **öteleme hareketi** denir. Bir cisim, sadece öteleme hareketi yapıyorsa cismin üzerindeki her nokta, yere paralel ve eşit hızda hareket eder. Görsel 1.13'teki adamın iterek ötelediği kutunun her noktasının hızı eşittir.

Bir cismin sabit bir eksen etrafında dolanmasına **dönme hareketi** denir. Kütle merkezinden geçen bir eksen etrafında dönen cisimlerin kütle merkezinin yeri değişmez. Görsel 1.14'te bir eğlence parkında bulunan dönme dolap, sabit bir eksen etrafında dönme hareketi yapmaktadır.

Şekil 1.16: a'da öteleme hareketi yapan bir tekerleğin üzerindeki noktaların öteleme hızları gösterilmiştir. Şekil 1.16: b'de ise dönme hareketi yapan bir tekerleğin üzerindeki noktaların dönme hızları verilmiştir.

Günlük hayatta hareket çeşitlerinin tek başına veya birlikte görülebileceği birçok durumla karşılaşılır. Örneğin düz bir yolda hareket hâlindeki arabanın tekerlekleri (Görsel 1.15), hem öteleme hem de dönme hareketi yapar. Bu duruma **dönerek öteleme** veya **kaymadan yuvarlanma hareketi** denir. Kaymadan yuvarlanma hareketi yapan cismin üzerindeki bir noktanın dönme ve öteleme hızlarının vektörel toplamına **yere göre hız** denir.

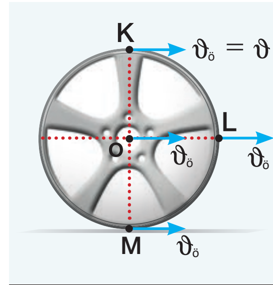
Kaymadan yuvarlanan bir cismin üzerindeki noktaların yere göre anlık hızları Şekil 1.17'de verilmiştir.



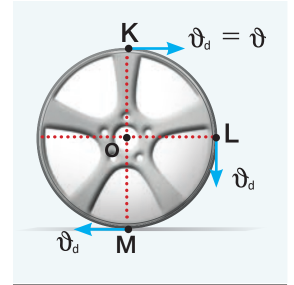
Görsel 1.13: *Kutuyu iterek öteleyen adam*



Görsel 1.14: *Dönme dolap*



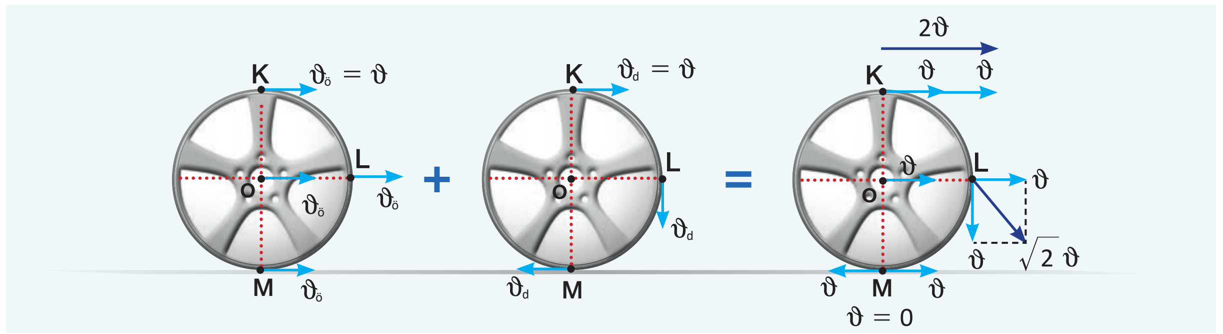
Şekil 1.16: a) *Ötelenen tekerlek*



Şekil 1.16: b) *Dönen tekerlek*



Görsel 1.15: *Hareket hâlindeki araba*



Şekil 1.17: *Öteleme ve dönme hareketi yapan tekerleklerin yere göre hızı*

MERAKLISINA BİLİM



Krank mili, pistonun öteleme hareketini dönme hareketine dönüştüren mekanik bir ekipmandır. İçten yanmalı pistonlu motorlara sahip araçların hareket edebilmesi için krank miline ihtiyaç vardır.

Kaymadan yuvarlanma hareketi yapan düzgün cisimlerin dış yüzeyindeki noktalarda dönme ve öteleme hız büyüklükleri birbirine eşittir. Cismin üzerindeki noktaların dönme ve öteleme hızları arasındaki en temel fark, öteleme hızı her noktada aynıyken dönme hızı merkezden uzaklaşıldıkça artar.

UYGULAMA » 1

Günlük hayattan sadece öteleme, sadece dönme ve dönerek öteleme hareketi yapan cisimlere örnekler yazınız.



SİMÜLASYON 2

Süre	20 dk.
Simülasyonun Adı	Yuvarlanma
Simülasyonun Amacı	Öteleme, dönme ve dönerek öteleme hareketlerini karşılaştırabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruyu cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

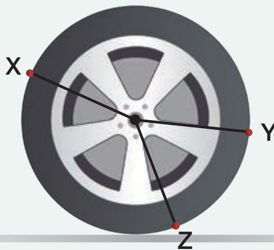
1. Karekoddan yararlanarak "Yuvarlanma" isimli simülasyona ulaşınız.

2. Simülasyonda farklı hareket türlerini seçerek öteleme, dönme ve dönerek öteleme hareketlerini inceleyiniz.

Simülasyonun Değerlendirmesi

Simülasyonda sadece öteleme, sadece dönme ve dönerek öteleme hareketlerini inceleyerek bu hareketler arasındaki benzerlik ve farklılıkları belirtiniz.

SORU 1



Dönerek öteleme hareketi yapan tekerleğin üzerindeki X, Y ve Z noktalarının yere göre hızlarının büyüklüklerini büyükten küçüğe doğru sıralayınız.

ÇÖZÜM

Dönerek öteleme hareketi yapan tekerleğin en üst noktasının yere göre hızının değeri en büyüktür. En alt noktasının yere göre hızı ise sıfırdır. Bundan dolayı en üst noktaya en yakın olan X noktasının yere göre hızının değeri en büyük, en alt noktaya en yakın olan Z noktasının yere göre hızının değeri ise en küçüktür.

$\vartheta_x > \vartheta_y > \vartheta_z$

1.2.2. Eylemsizlik Momenti

Bir cismin, durumunu ya da konumunu koruma isteğine **eylemsizlik** (atalet) denir. Eylemsizlik, maddenin ortak özelliklerinden biridir.

Dönme hareketi yapan bir cismin, dönme durumundaki değişimlere karşı gösterdiği dirence **eylemsizlik momenti** denir. Eylemsizlik momenti, I ile gösterilen ve SI'da birimi kilogram · metre² (kg · m²) olan skaler bir niceliktir.

Öteleme hareketinde eylemsizlik, cismin kütlesine bağlıyken dönme hareketinde hem cismin kütlesine hem de kütlenin dönme eksenine göre dağılımına bağlıdır. Başka bir deyişle eylemsizlik momenti; cismin kütlesi, dönme yarıçapı ve şekline bağlıdır (Şekil 1.18).

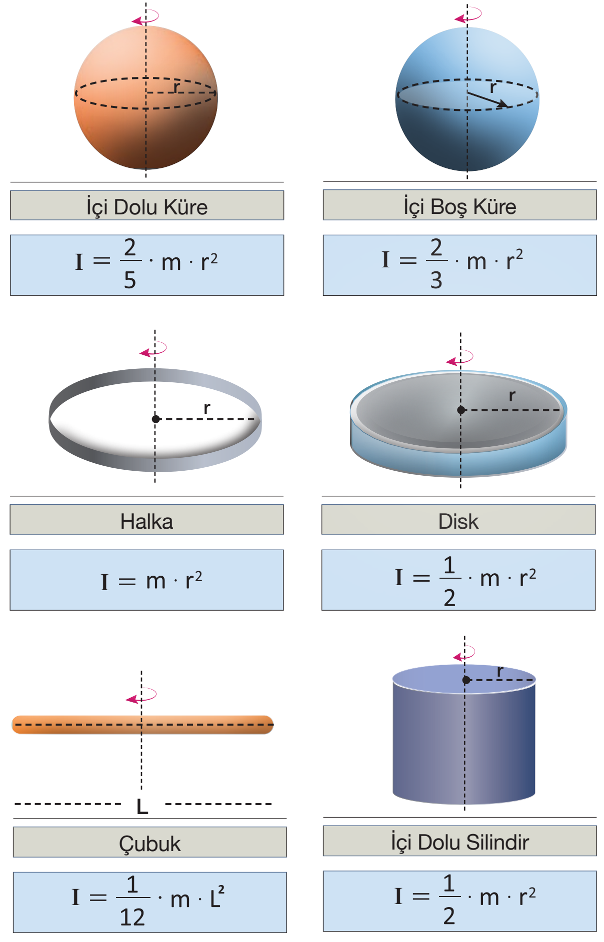
Cismi oluşturan her bir parçanın eylemsizlik momenti vardır. Bu nedenle cisme etki eden toplam eylemsizlik momenti, her bir parçacığın eylemsizlik momentlerinin toplamıdır. Eylemsizlik momentinin matematiksel modeli şu şekilde ifade edilir:

$$I = \Sigma m \cdot r^2$$

ARAŞTIRMA



Mars gezegeninin yüzeyine indirilen uzay araçlarından alınan bilgiler ışığında Mars'ın eylemsizlik momenti hesaplanmıştır. Mars'ın eylemsizlik momentinin bilim insanlarına hangi bilgileri sağlayabileceğini araştırınız. Araştırma sonuçlarını arkadaşlarınızla değerlendiriniz.



Şekil 1.18: Bazı geometrik cisimlerin eylemsizlik momentleri

SİMÜLASYON 3 | Süre: 20 dk.

Simülasyonun Adı	Eylemsizlik Momenti
Simülasyonun Amacı	Eylemsizlik momentinin bağlı olduğu değişkenleri belirleyebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamdıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruyu cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak "Eylemsizlik Momenti" adlı simülasyona ulaşınız.

2. Simülasyonda farklı geometrik şekillerin eğik düzlem üzerindeki kayma süreleri ile şekilleri arasındaki ilişkiyi inceleyiniz.

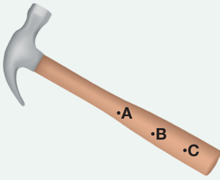
Simülasyonun Değerlendirmesi

Cisimlerin kütle dağılımlarının eylemsizlik momenti üzerindeki etkilerini açıklayınız.

UYGULAMA » 2

Birçok mühendislik tasarımında olduğu gibi gemiler tasarlanırken de eylemsizlik momenti hesaplamaları yapılır. **Eylemsizlik momenti hesaplamaları gemiler için neden önemlidir? Açıklayınız.**

SORU 2



Kütle merkezi metal kısmına yakın olan bir çekicin üzerindeki A, B ve C noktalarının kütle merkezine göre eylemsizlik momentlerini küçükten büyüğe doğru sıralayınız.

ÇÖZÜM

Eylemsizlik momenti, kütle merkezine uzaklığın karesi ile doğru orantılı olduğundan kütle merkezine en uzak noktanın eylemsizliği en büyüktür. Bu nedenle verilen noktaların eylemsizliği

$I_A < I_B < I_C$ şeklinde sıralanır.

1.2.3. Dönme ve Dönerek Öteleme Hareketi Yapan Cisimlerin Kinetik Enerjisi

Bir cismin sadece öteleme hareketinden dolayı sahip olduğu hareket enerjisine **öteleme kinetik enerjisi** denir. Görsel 1.16'da öteleme hareketi yapan bir gemi görülmektedir. Öteleme kinetik enerjisi, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$E_Ö = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vartheta^2$$



Görsel 1.16: Hareket hâlindeki gemi



Görsel 1.17: Kalkış yapan helikopter

Bir cismin sadece dönme hareketinden dolayı sahip olduğu hareket enerjisine **dönme kinetik enerjisi** denir. Görsel 1.17'de kalkış yapan bir helikopterin dönen pervanesi görülmektedir. Dönme kinetik enerjisi, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$E_D = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

Dönerek öteleme (yuvarlanma) hareketi yapan cisimlerin hem öteleme hem de dönme kinetik enerjisi vardır. Örneğin fırlatılan bir bumerang, hem öteleme hem de dönme kinetik enerjisine sahiptir (Görsel 1.18). Bumerangın toplam hareket enerjisi, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$E_K = E_Ö + E_D$$

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vartheta^2 + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$



Görsel 1.18: Dönerek öteleme hareketi yapan bumerang

SORU 3



Görselde verilen traktörün arka tekerleği 8m kütleli, 2r yarıçaplı; ön tekerleği ise m kütleli ve r yarıçaplıdır.

Yatay yolda sabit süratle ilerlemekte olan traktörün ön ve arka tekerleğinin öteleme ve dönme kinetik enerjilerini karşılaştırınız. ($I_{tekerlek} = m \cdot r^2$)

ÇÖZÜM

Tekerleklerin öteleme hızları eşittir.

<u>Ön Tekerlek</u>

$$E_Ö = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vartheta^2$$

<u>Arka Tekerlek</u>

$$E_Ö = \frac{1}{2} \cdot 8m \cdot \vartheta^2$$

Arka tekerleğin kütlesi daha büyük olduğundan öteleme kinetik enerjisi de daha büyük olur.

Açısal hız yarıçap ile ters orantılı olduğundan ön tekerleğin açısal hızına 2ω, arka tekerleğin açısal hızına ω denebilir.

Dönme kinetik enerjisi $\frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$, eylemsizlik momenti $I = m \cdot r^2$ eşitliği ile hesaplanır.

<u>Ön Tekerlek</u>

$$E_D = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 (2\omega)^2$$

<u>Arka Tekerlek</u>

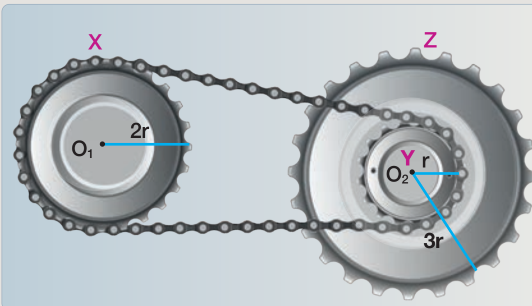
$$E_D = \frac{1}{2} \cdot 8m \cdot (2r)^2 \cdot \omega^2$$

Hesaplamalar sonucunda arka tekerleğin dönme kinetik enerjisinin daha büyük olduğu sonucuna varılır.

UYGULAMA » 3

Yarıçapları sırasıyla 2r, r, 3r ve eylemsizlik momentleri sırasıyla 2I, I, 3I olan X, Y ve Z dişlileri şekildeki gibi birbirine zincirle bağlanmıştır.

X dişlisi sabit ω açısal hız büyüklüğüyle döndürüldüğüne göre dişlilerin dönme kinetik enerjileri arasındaki ilişkiyi açıklayınız. (Sürtünmeleri ihmal ediniz.)



ARAŞTIRMA

Günümüzde gittikçe yaygınlaşan elektrikli ulaşım araçlarından bazılarında kullanılan kinetik enerji geri kazanım sistemi [KERS-Kinetic Energy Recovery System (Kinetik Enerci Rikaveri Sistım)] hakkında araştırma yapınız. Sistemin avantaj ve dezavantajları ile ilgili bir sunum hazırlayarak arkadaşlarınızla paylaşınız. Araştırma sonuçlarından hareketle tartışma ortamı oluşturunuz.

ETKİNLİK 2	Süre 20 dk.
Etkinliğin Adı	Onun Arabası Var
Etkinliğin Amacı	Boyut değişiminin eylemsizlik momenti üzerindeki etkisini açıklayabilme.
Araç Gereç	Kalem, kâğıt.

Yönerge: Aşağıdaki metni okuyunuz ve ihtiyaç duymanız hâlinde genel ağdan veri toplayarak etkinliği uygulama aşamalarına göre tamamlayınız. Etkinliği tamamladıktan sonra “Etkinliğin Değerlendirmesi” bölümünde verilen soruyu cevaplayınız.



Araçlarda lastiklerin takıldığı çember şeklindeki metal kısma **jant** denir. Jantlar, ilk bakışta estetik amaçlı kullanılıyor gibi görünse de aracın hareket etmesini sağlayan önemli parçalardan biridir.

Jantlarda ölçü birimi olarak inç (1 inç = 2,54 cm) kullanılır. Araç jantlarının boyutları 5 inç ila 18 inç arasında değişebilmektedir.

Araç sahipleri, zaman zaman estetik nedenlerle araçların fabrika çıkışında belirlenen jant boyutundan farklı boyutlarda jant kullanabilmektedir.



Özkan Bey, aracının jant boyutunu değiştirmek istemektedir. Farklı boyutlardaki jantların aracın ivmelenme süresi, yakıt tüketimi, fren mesafesi ve viraj performansı üzerindeki etkisini avantaj ve dezavantajları bakımından kıyaslayarak bir seçim yapmayı planlamaktadır.

Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Farklı boyutta (daha küçük veya daha büyük) jant kullanılmasının aracın ivmelenme süresi, yakıt tüketimi, fren mesafesi ve viraj performansı üzerinde nasıl bir etkisi olabileceğini sebepleri ile açıklayınız.

2. Jant boyutunu değiştirmenin avantaj ve dezavantajlarını göz önüne alarak Özkan Bey’e jant boyutuyla (daha büyük veya daha küçük) ilgili öneride bulununuz. Önerinizi hangi ölçütlere göre yaptığınızı açıklayınız.

3. Daha büyük boyutta bir jant kullanmak isteyen Özkan Bey’e yardımcı olmak için bu jantın dezavantajlarını gideren bir tasarım yapınız.

Etkinliğin Değerlendirmesi

Fizik dersinde öğrendiğiniz bilgilerin jant tasarımı yapmanızda ne gibi katkıları oldu? Açıklayınız.

3. BÖLÜM

1.3. AÇISAL MOMENTUM



Anahtar Kavramlar

Açısal Momentum



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde açısal momentumun mikro boyuttan makro boyuta kadar tüm dönen sistemlerde tanımlanabilen fiziksel bir nicelik olduğu üzerinde durulacak, çizgisel momentum ve tork ile açısal momentum arasındaki ilişki anlatılacak, günlük hayattan örneklerle açısal momentumun korunumu açıklanacaktır.



TOPAÇ FİZİĞİ

Günümüzdeki teknolojik oyuncaklarla kıyaslandığında modası geçmiş gibi görünen topaç, yüzyıllardır dünyanın birçok yerinde hem çocukların hem de yetişkinlerin birlikte vakit geçirmekten hoşlandığı bir oyun arkadaşı olmuştur. İnsanoğlu; su kabağı, taş, ağaç, meyve çekirdeği vb. malzemelerden farklı tasarımlara sahip topaçlar yapmıştır. Bununla birlikte hepsinin temelde çalışma prensibi birbirine benzer.



Etrafına sarılı bir ipin hızla çekilmesi sonucunda topaç, bırakıldığı yüzeyde devrilmeden dönme ve öteleme hareketi yapar.

Genelde oyunlar;

1. topacı dairenin içinden çıkarmama,
2. duran topaca vurma,
3. topacı en uzun süreyle çevirme,
4. farklı boyutlara ve puanlara sahip yan yana çizilen dairelerde topacı dolandırarak puan toplama şeklindedir.

Topacın dönme hareketinin ardındaki fizik, daha sonraları jiroskop benzeri sistemlerin yapılmasına ilham vermiştir. Jiroskop; ticari yük gemileri, insansız hava araçları, akıllı saatler, akıllı cep telefonları vb. sistemlerde kullanılmaktadır.



HAZIRLIK SORULARI

1. İnsanoğlu hangi malzemelerden topaç üretmiştir?
2. Topacın daha uzun süre dönebilmesi için neler yapılabilir?
3. Dönen topaç dengede midir? Nedenleri ile açıklayınız.

1.3.1. Açısal Momentum Nedir?

Çamaşır makinesinin içindeki tamburun (Görsel 1.19), Güneş'in etrafında dolanan Dünya'nın ve kendi ekseni etrafında dönen stres çarkının (Görsel 1.20) yaptığı dönme hareketi sonucunda çizgisel momentumdan farklı bir momentum oluşur.



Görsel 1.19: Çamaşır makinesinin içindeki tambur



Görsel 1.20: Döndürülen stres çarkı

Belirli bir nokta etrafında dönen noktasal bir cismin konum vektörü ile çizgisel momentum vektörünün vektörel çarpımına **açısal momentum** denir. Açısal momentum, $\vec{L}$ sembolü ile gösterilen vektörel bir niceliktir. Açısal momentumun SI'da birimi kilogram · metre²/saniyedir (kg · m²/s).

Açısal momentum, atomik boyuttaki sistemlerden makro boyuttaki sistemlere kadar geniş bir alanda görülür. Dönme hareketi yapan cisimlerin hareket dinamiklerini açıklamak için açısal momentum kavramından yararlanılır. Bu nedenle astronomide, atom fiziğinde, çekirdek fiziğinde, Newton mekaniğinde ve kuantum mekaniğinde sıklıkla açısal momentum kavramı kullanılır.

SORU 1

Açısal momentum ile ilgili

I. Dönerek öteleme hareketi yapan cisimlerin açısal momentumları vardır.

II. Farklı yönlere eşit büyüklükte açısal hızlarla döndürülen cisimlerin açısal momentumları eşittir.

III. Açısal momentum, sadece makro boyutlu sistemlerde hesaplanır.

yargılarından hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

Dönerek öteleme hareketi yapan cisimler, ötelemenin yanında dönme hareketi de yaptığından bu cisimlerin açısal momentumu vardır.

Açısal momentum, vektörel bir nicelik olduğundan farklı yönlerde dönen cisimlerin açısal momentumları eşit olamaz.

Açısal momentum, atomik boyutta da görülen fiziksel bir niceliktir.

Yalnız I. cümledeki ifade doğrudur.

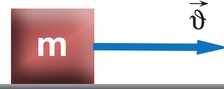
UYGULAMA » 1

Açısal momentum kavramının farklı bilim dallarındaki kullanımlarına örnekler veriniz.

1.3.2. Açısal Momentum ve Çizgisel Momentum Arasındaki İlişki

Öteleme hareketi yapan bir cismin kütlesiyle hızının çarpımına eşit olan vektörel niceliğe **çizgisel momentum** denir. Çizgisel momentumun sembolü $\vec{P}$, SI'da birimi kilogram · metre/saniyedir (kg · m/s). Şekil 1.19'da sürtünmesiz yüzeyde hareket eden m kütleli cismin $\vec{\vartheta}$ hızı ile öteleme hareketi yaptığı görülmektedir. Bu cismin çizgisel momentumu, matematiksel olarak şu şekilde gösterilir:

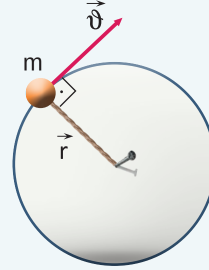
$$\vec{P} = m \cdot \vec{\vartheta}$$



Şekil 1.19: Ötelenen cisim

Açısal momentum, çizgisel momentumun torku olarak da ifade edilir. Bir eksen etrafında dönen bir cismin (Şekil 1.20) açısal momentumu, matematiksel olarak şu şekilde gösterilir:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P}$$



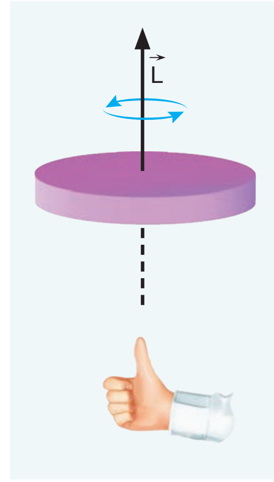
Şekil 1.20: Dönen cisim

Çizgisel momentum, açısal momentum ve yarıçap vektörleri her zaman birbirine diktir. Bu model yardımıyla açısal momentumun büyüklüğünü bulmak için çizgisel momentum yerine m · ϑ yazıldığında

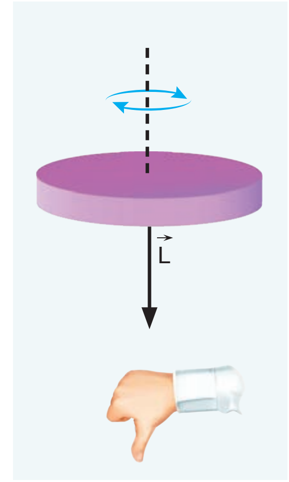
$$L = m \cdot \vartheta \cdot r$$

matematiksel modeli elde edilir.

Açısal momentum da çizgisel momentum gibi vektörel bir niceliktir. Açısal momentumun yönü sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elin dört parmağı cismin dönüş yönünü, başparmak ise açısal momentumun yönünü gösterir. Şekil 1.21: a ve Şekil 1.21: b'de zıt yönlere dönen cisimlerin açısal momentumlarının yönü gösterilmiştir.



Şekil 1.21: a) Saat yönünün tersine dönen diskte sağ el kuralı



Şekil 1.21: b) Saat yönünde dönen diskte sağ el kuralı

UYGULAMA » 2

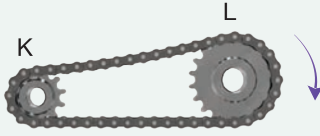
Doğada havadaki basınç değişimlerine bağlı olarak oluşan, kendi ekseni etrafında dönerek hareket edebilen, yüksek hızlara ulaşabilen ve yıkıcı etkileri olan şiddetli rüzgâr çeşidine **hortum** denir.

Görselde verilen hortumun oluşumunda açısal momentumun etkisini açıklayınız. Açısal momentum kavramına günlük hayattan örnekler veriniz.



SORU 2

Birbirine zincirle bağlı K ve L dişlilerinin yarıçapları sırasıyla r ve 4r, kütleleri sırasıyla m ve 3m'dir. L dişlisi ω açısal hız büyüklüğüyle saat yönünde çevriliyor.



Buna göre dişlilerle ilgili

I. Dişlilerin açısal momentumları eşittir.

II. Dişlilerin açısal momentumları zıt yönlüdür.

III. L dişlisinin açısal momentumunun yönü sayfa düzleminden içeri doğrudur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

Açısal momentum $L = m \cdot \vartheta \cdot r$ matematiksel modeli ile bulunur.

Birbirine zincirle bağlı dişlilerde zincirin dişliye değdiği noktaların çizgisel hızları eşit büyüklüktedir. Bundan dolayı dişlilerin kütle ve yarıçap çarpımlarına bakılırsa L dişlisinin açısal momentumunun K dişlisinin açısal momentumundan büyük olduğu görülür. Bu nedenle I. öncül yanlıştır.

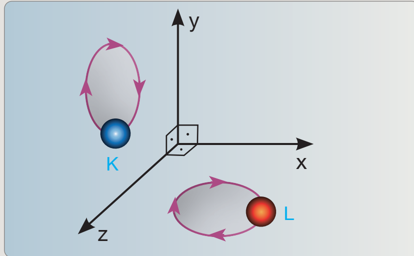
Aynı yöne doğru döndükleri için dişlilerin açısal momentumları aynı yönlüdür.
Bu nedenle II. öncül yanlıştır.

Sağ el kuralına göre dört parmak saat yönünde çevrildiğinde başparmak sayfa düzleminden içeriyi gösterir.
Bu nedenle III. öncül doğrudur.

Yalnız III. cümledeki ifade doğrudur.

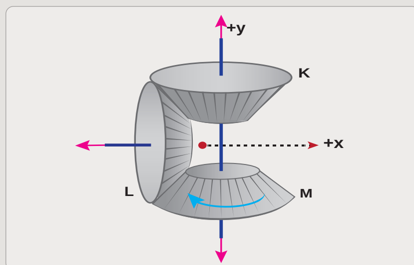
UYGULAMA » 3

Şekilde verilen K ve L cisimlerinden K cismi y-z düzleminde, L cismi ise x-z düzleminde çembersel hareket yapmaktadır.
Buna göre cisimlerin açısal momentumlarının yönlerini çizerek gösteriniz.



UYGULAMA » 4

Şekilde verilen dişililerden M dişlisi, mavi ok yönünde çevrilmektedir.
K ve L dişlilerinin açısal hızlarının ve açısal momentumlarının yönlerini çizerek gösteriniz.



1.3.3. Açısal İvme, Tork ve Eylemsizlik Momenti Arasındaki İlişki

Çizgisel harekette birim zamandaki hız değişimine **çizgisel ivme** denir. Çizgisel ivmenin sembolü $\vec{a}$, SI'da birimi metre/saniye²dir (m/s²). Çizgisel ivme, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{\vartheta}}{\Delta t}$$

Hız, vektörel bir nicelik olduğundan hızın büyüklüğünde bir değişiklik olmasa dahi yönünde bir değişiklik meydana gelmesi hâlinde hız değişir ve çizgisel ivme oluşur.

Çizgisel ivmeden yola çıkılarak dönen cisimlerde, açısal hız değişimi olması durumunda, açısal ivme oluşacağı sonucuna ulaşılır. Dönme hareketinde **açısal ivme**, birim zamanda açısal hız değişimi olarak tanımlanır. Açısal ivmenin sembolü $\vec{\alpha}$, SI'da birimi radyan/saniye²dir (rad/s²). Açısal ivme, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$\vec{\alpha} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t}$$

Çizgisel hız büyüklüğü ile açısal hız büyüklüğü arasındaki ilişki

$\vartheta = \omega \cdot r$ bağıntısıyla gösterilir. Buradan hareketle çizgisel ivme ile açısal ivme arasındaki ilişki

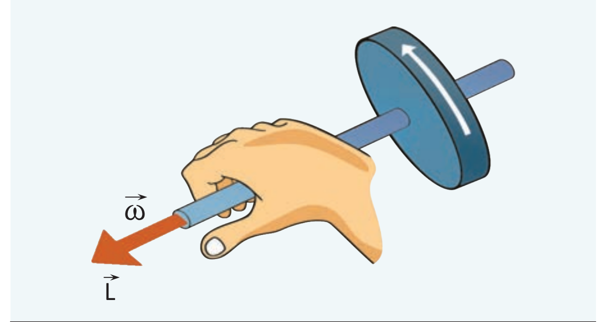
$\vec{a} = \vec{\alpha} \cdot r$ şeklinde ifade edilir.

Açısal momentumu göstermek için kullanılan $L = m \cdot \vartheta \cdot r$ ifadesinde çizgisel hız yerine $\vartheta = \omega \cdot r$ yazıldığında

$\vec{L} = m \cdot \vec{\omega} \cdot r^2$ eşitliği elde edilir. $I = m \cdot r^2$ olduğundan açısal momentum, eylemsizlik momenti ve açısal hız arasındaki ilişki matematiksel olarak şu şekilde gösterilir:

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

Dönme hareketi yapan bir cismin açısal momentumunun yönü ile açısal hızının yönü aynıdır. Şekil 1.22'de dönen diskin üzerinde açısal momentum ve açısal hız vektörleri gösterilmiştir.



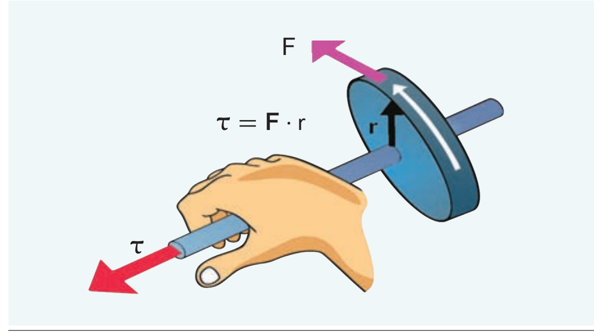
***Şekil 1.22:** Dönen cismin açısal hız ve açısal momentumunun sağ el kuralı ile gösterimi*

UYGULAMA » 5

Bir cismin açısal momentumunu hesaplamak için aşağıdaki niceliklerden hangilerinin bilinmesi gerekli ve yeterlidir?

- [ ] Kütle
- [ ] Eylemsizlik momenti
- [ ] Açısal hız

Kuvvetin cisimler üzerindeki döndürme etkisine **tork** (moment) denir. Torkun yönü, açısal momentum ve açısal hızın yönünde olduğu gibi sağ el kuralı ile bulunur. Şekil 1.23'te dönen diske etki eden torkun yönü ve matematiksel modeli gösterilmiştir.



Şekil 1.23: Dönen diske etki eden tork

Newton'ın Birinci Hareket Kanunu'na göre cismin üzerine etki eden net kuvvet sıfır ise cisim, durumunu veya konumunu korur. Newton'ın İkinci Hareket Kanunu'na ($\vec{F} = m \cdot \vec{a}$) göre cismin üzerine net bir kuvvet etki ettiğinde cisimde çizgisel ivme meydana gelir. Dönme hareketi yapan cisimler de Newton'ın Hareket Kanunları'na uymalıdır. Dönen cisimlerde net kuvvet yerini net torka, çizgisel ivme ise açısal ivmeye bırakır. Newton'ın İkinci Hareket Kanunu'nu dönme hareketi bakımından açıklamak için tork, eylemsizlik ve açısal ivme büyüklükleri arasındaki ilişki şu şekilde gösterilir:

$\tau = F \cdot r$ ifadesinde kuvvet yerine kütle ve ivme çarpımı yazılırsa

$\tau = m \cdot a \cdot r$ eşitliği elde edilir. Burada çizgisel ivme büyüklüğü yerine açısal ivme ile yarıçap çarpımı yazıldığında

$\tau = m \cdot \alpha \cdot r^2$ bağıntısı oluşur. $I = m \cdot r^2$ olduğundan

$\vec{\tau} = I \cdot \vec{\alpha}$ ifadesine ulaşılır.



SİMÜLASYON 4

Süre 20 dk.

Simülasyonun Adı	Eylemsizlik Momenti, Tork ve Açısal İvme
Simülasyonun Amacı	Eylemsizlik momenti, tork ve açısal ivme arasındaki ilişkiyi açıklayabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak "Eylemsizlik Momenti, Tork ve Açısal İvme" adlı simülasyona ulaşınız.
2. Simülasyonda verilen yarıçap, kütle, kuvvet ve kütle dağılımı değişkenlerini değiştirerek dönme hareketini inceleyiniz.

Simülasyonun Değerlendirmesi

1. Newton'ın Hareket Kanunları'nı kullanarak açısal momentumu, eylemsizlik momenti ve açısal hız kavramları ile ilişkilendiriniz.

2. Newton'ın Hareket Kanunları'nı kullanarak tork kavramını, eylemsizlik momenti ve açısal momentum kavramları ile ilişkilendiriniz.

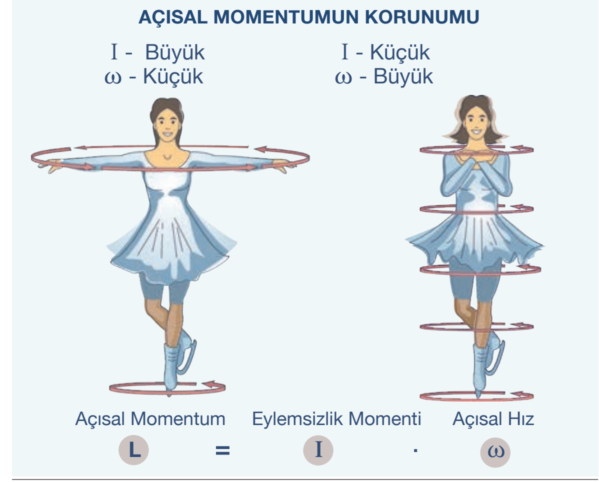
ARAŞTIRMA

Kentsel dönüşüm kapsamında depreme dayanıklı binalar inşa edilmesi için kontrollü yıkım yapılmaktadır. Bu binaların yıkımında binanın açısal momentumunun, torkunun ve eylemsizlik momentinin önemini araştırınız. Elde ettiğiniz bilgilerden hareketle bir rapor hazırlayarak sınıf içinde sunum yapınız.

1.3.4. Açısal Momentumun Korunumu

Dışarıdan bir tork uygulanmadığı sürece dönen bir cismin açısal momentumunun sabit kalması gerektiğini belirten ilkeye **açısal momentumun korunumu** denir. Açısal momentumun korunumu, günlük hayatta karşılaşılan birçok durumun açıklanmasını sağlamaktadır. Görsel 1.21'de kolları açık ve kapalı hâlde gösterilen bir buz pateni sporcusu yer almaktadır. Sürtünmeler ihmal edildiğinde sporcuya etki eden net tork sıfırdır. Bu nedenle sporcunun açısal momentumu değişmez. Sporcunun kolları açıkken dönme eksenine olan uzaklık fazla olduğundan eylemsizlik momenti artar, açısal hızı azalır. Sporcunun kolları kapandığında dönme eksenine olan uzaklık azalacağından eylemsizlik momenti azalır, açısal hızı artar.

Açısal momentumun korunumu ilkesi, açısal momentumun olduğu tüm boyutlarda geçerlidir. Örneğin Güneş'in etrafında dolanan Dünya'ya etki eden net tork sıfır olduğundan Dünya'nın açısal momentumu korunur.



Görsel 1.21: Buz pateni yapan sporcu

MERAKLISINA BİLİM

Hareketsizken devrilen bisikletin hareket etmeye başladığında devrilmemesi açısal momentumun korunumu ile ilgilidir.

UYGULAMA » 6

Kutuplardan Ekvator'a doğru götürülen bir cismin niceliklerinden hangileri zamanla değişir? Gerekçeleriyle açıklayınız.

☐ Açısal momentum ☐ Açısal hız ☐ Eylemsizlik momenti



SİMÜLASYON 5

Süre: 20 dk.

Simülasyonun Adı	Açısal Momentumun Korunumu
Simülasyonun Amacı	Açısal momentumun korunumu ilkesinin bağlı olduğu değişkenleri analiz edebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak "Açısal Momentumun Korunumu" adlı simülasyona ulaşınız.
2. Simülasyonda dönen platform üzerinde duran kişinin ve platformun kütlesi, platformun yarıçapı gibi değişkenleri değiştirerek dönme hareketinde meydana gelen değişimleri inceleyiniz.

Simülasyonun Değerlendirmesi

1. Kişinin ve platformun kütlesini değiştirdiğinizde dönme hareketinde ne gibi bir değişiklik gözlemlediniz?

2. Platformun yarıçapını değiştirdiğinizde dönme hareketinde ne gibi bir değişiklik gözlemlediniz?

ETKİNLİK 3	Süre 20 dk.
Etkinliğin Adı	Şişedeki Fizik
Etkinliğin Amacı	Açısal momentumun bağlı olduğu nicelikleri açıklayabilme.
Araç Gereç	Özdeş su şişesi, su, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek etkinliği gerçekleştiriniz. Etkinliği tamamladıktan sonra "Etkinliğin Değerlendirmesi" kısmında verilen soruyu cevaplayınız.

! **Uyarı:** ***Atmadan önce şişenin kapağının kapalı olmasına dikkat ediniz. Şişeyi atarken çevrenize ve arkadaşlarınıza zarar vermemeye özen gösteriniz.***



Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Beşerli gruplara ayrılınız.
2. Deneye başlamadan önce grup arkadaşlarınızla birlikte hipotezinizi oluşturunuz.
Örnek: Dik durması için şişeyi tam doldurup hızla çevirerek atmalıyız.
3. Şişenin içindeki su miktarını hipoteziniz doğrultusunda ayarlayınız.
4. Her atıştan önce grup arkadaşlarınızla şişenin içindeki su miktarına ve şişeyi atış şeklinize karar veriniz.
4. En fazla beş deneme yaparak şişenin dik durmasını sağlamaya çalışınız.
5. Her atıştan sonra aşağıda verilen tabloyu doldurunuz.

Deneme	Şişede Ne Kadar Su Var?	Şişeyi Nasıl Attınız?	Şişe Dik Durdu mu?	Başarı Oranı
1				
2				
3				
4				
5				

Etkinliğin Değerlendirmesi

Gruplar tarafından ortaya konan hipotezlerden hangisinin, niçin başarıya ulaştığını fizik yasalarından yararlanarak açıklayınız.

ARAŞTIRMA

- Helikopterlerin kuyruk kısmındaki küçük pervanelerin yapılma amacını araştırınız.
- Bazı helikopter modellerinde kalkış pervaneleri iki tanedir. Bu pervanelerin kalkış anında ters yönlere dönmesinin nedenini araştırınız. Ulaştığınız bilgileri sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

4. BÖLÜM

1.4. KÜTLE ÇEKİM KUVVETİ



Anahtar Kavramlar

Kütle Çekim Kuvveti



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde kütleler arasındaki kütle çekim kuvvetinin bağlı olduğu değişkenler belirlenerek matematiksel bir model oluşturulacak, yer çekimi ivmesinin nelere bağlı olduğu üzerinde durulacak ve kütle çekim potansiyel enerjisi açıklanarak bağlanma ve kurtulma enerjisine yer verilecektir.



AĞIRLIĞI DENGELEMEK



Bir yükü kaldırdığınızda veya havada tuttuğunuzda o yükün ağırlığını dengelemiş olursunuz. Örneğin bir halterci, halteri havada tuttuğunda o halterin ağırlığını hisseder ve dengeler. Halteri uzun süre havada tuttuğunda ağırlığın etkisini daha fazla hissetmeye başlar. Çünkü halter, Dünya'nın merkezi tarafından çekilir ve bu da bir kuvvet oluşturur.

Peki, ağırlığın hissedilmediği bir durum tasarlanabilir mi? Bir cismin ağırlığını dengeleyecek ters yönde bir kuvvet oluşturulduğunda o cismin ağırlığı sıfır olur. Bunu asansörde elde etmek mümkündür. Örneğin duran asansörün tavanına bir cisim asıldığında ipte cismin ağırlığı kadar bir gerilme kuvveti oluşur. Asansör, cismin yer çekimi ivmesi değerindeki sabit bir büyüklükle aşağı doğru hızlanmaya başlarsa (sürtünme kuvvetinin önemsiz olduğu durumda) ipteki gerilme kuvveti sıfıra eşitlenir. Diğer bir deyişle ipin bir işlevi kalmaz. İp kesildiğinde asansör içindeki referans sisteminden bakıldığında cismin ağırlıksız olarak havada asılı kaldığı görülebilir. Hatta asansör, yer çekimi ivmesinden daha büyük bir değerde aşağı doğru hızlanırsa cismin yukarı doğru hareket ettiği gözlemlenir.



HAZIRLIK SORULARI

1. Bir cisim ağırlıksız olabilir mi? Olabilirse bunun koşulu nedir?

2. Dünya'nın çekim kuvveti Ay'a etki ettiğinde Ay neden Dünya'nın üzerine düşmüyor?

3. Asansör sistemi dışında yer çekimi ivmesi ile zıt yönlü fakat eşit büyüklükte ivme oluşturulabilen bir durum tasarlayınız veya bu duruma uyan sistemi tarif ediniz.

1.4.1. Kütle Çekim Kuvveti Nedir?

Günlük hayatta karşılaşılan sürtünme ve kaldırma kuvvetleri temas gerektiren kuvvetlerdir. Bu türetilmiş kuvvetler, temel kuvvetlerin etkisiyle oluşur. Ancak kütle çekim kuvvetinde birbirine çekim kuvveti uygulayan kütlelerin temas etmesi gerekli değildir. Bir nesnenin havada iken yere düşmesi; gezegenlerin Güneş etrafında, Ay ve yapay uyduların Dünya etrafında eliptik bir yörüngede dolanması kütle çekim kuvvetinin etkisiyle gerçekleşir. Gezegenlerin, yapay ve doğal uyduların belli bir yörüngede dolanmasını sağlayan temel kuvvet, kütle çekim kuvvetidir. Bir nesnenin yere doğru çekilmesi, kütle çekim kuvvetinin özel bir hâlidir. Kütle çekim kuvveti, bugün bilinen dört temel kuvvetten biridir.



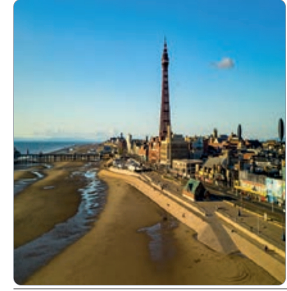
Görsel 1.22: Dünya (gezegen) ve Ay'ın Güneş etrafındaki konumunu gösteren bir model

Kütle Çekim Kuvvetinin Gezegenlerin Hareketine Etkisi

Güneş sisteminde kendi ekseni etrafında dönen gezegenler, kütle çekim kuvvetinin etkisiyle odaklarından birinde Güneş bulunan farklı eliptik yörüngelerde dolanır. Gezegenlerin yörüngeleri üzerinde Güneş'in uyguladığı çekim kuvvetinin yanında küçük de olsa diğer gezegenlerin uyguladığı kütle çekim kuvvetinin etkisi de görülür. Gezegenlerin hareketi, Kepler Kanunları başlığı altında daha detaylı anlatılacaktır.



Görsel 1.23: a) Ay'ın kütle çekim kuvvetinin etkisi ile denizlerdeki suyun yükselmesi



Görsel 1.23: b) Ay'ın kütle çekim kuvvetinin etkisi ile denizlerdeki suyun çekilmesi

Kütle Çekim Kuvvetinin Ay'ın Hareketine Etkisi

Ay, kendi ekseni etrafında dönerken bir yandan da kütle çekim kuvvetinin etkisiyle Güneş ve Dünya'nın yörüngesinde dolanır (Görsel 1.22). Dünya Ay'a, Ay da Dünya'ya eşit büyüklükte fakat zıt yönlerde bir çekim kuvveti uygular. Buradan hareketle Dünya ve Ay'ın, ortak kütle merkezi etrafında dolandığı sonucuna ulaşılır. Ortak kütle merkezi, kütle farkından dolayı Dünya'ya yakındır. Ay'ın Dünya'ya uyguladığı kütle çekim kuvvetinin etkilerinden biri okyanuslarda ve denizlerde görülür. Dünya'nın Ay'a yakın olan kısmında suların yükselmesi ve uzak yerlerinde alçalması (gelgit olayı), Ay'ın Dünya'ya uyguladığı kütle çekim kuvvetinden kaynaklanır (Görsel 1.23: a ve b).

MERAKLISINA BİLİM

Dünya'dan bakıldığında Ay'ın hep aynı yüzü görülür. Bunun sebebi Ay'ın kendi ekseni etrafındaki dönüş süresi ile Dünya etrafındaki dolanma süresinin eşit olmasıdır (dönme ve dolanma hızının eşitliği). Bu durum astronomide kütle çekim kilidi olarak adlandırılır.

ARAŞTIRMA

Ay ile Dünya arasındaki kütle çekim kuvvetinin, gelgit olayının oluşumunda etkisi olduğu bilinir. Kütlesi Ay'dan çok daha büyük olan Güneş ile Ay'ın gelgit olayına etki etme düzeyi bakımından aralarında fark bulunmasının nedenlerini araştırınız. Ulaştığınız verileri sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

Kütle Çekim Kuvvetinin Yapay Uyduların Hareketine Etkisi

Dünya'nın ve Güneş sistemindeki diğer gezegenlerin bir veya birkaç uydusunun olması, bilim insanlarının yapay uydu tasarlamasına ilham kaynağı olmuştur (Görsel 1.24). Yapay uydular; insanlar tarafından tasarlanan, belli bir yörüngeye oturtulan ve bir gezegenin etrafında dolanan uzay araçlarıdır. Uydular birçok alanda kullanılabilir. Uzay araştırmaları, haberleşme, meteoroloji ve uzaktan algılama uyduların en çok kullanıldığı alanlardandır. Yapay uyduların hareket edeceği yörünge, uydunun kullanım amacına uygun olarak seçilir. Dünya'nın, Güneş etrafında belirli bir yörüngede dolanması gibi yapay uydular da Dünya'nın etrafında belirlenmiş bir yörüngede hareket eder. Yapay uydunun, seçilen yörüngede kalabilmesi için belli bir hız değerine sahip olması gerekir.



Görsel 1.24: *Dünya'nın yörüngesinde dolanan bir yapay uydu*

Alçak irtifalarda kütle çekim kuvveti daha fazladır; bu yüzden hareketli yapay uyduların, yörüngede kalabilmek için yüksek hızda hareket etmesi gerekir. Alçak irtifa uydularının dolanma periyodu, yüksek hızdan dolayı kısa olur. Yüksek irtifalarda kütle çekim kuvveti daha azdır. Bu yüzden yapay uydu, daha düşük hızlarda hareket eder. Dolayısıyla yüksek irtifa uydularının dolanma periyodu daha uzun olur. Bir yapay uydu yörüngedeyken gezegen tarafından uygulanan kütle çekim kuvveti, o uydunun merkezcil kuvveti olur.

ARAŞTIRMA

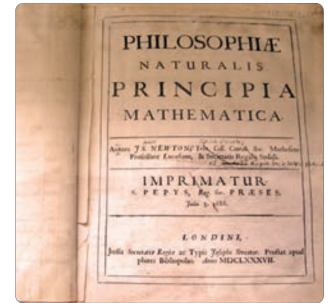
2022 yılı itibarıyla uzayda 8'i aktif, 4'ü görevini tamamlamış toplam 12 uydumuz bulunmaktadır. Aktif ve pasif uyduların hangi yörüngede (alçak, orta ve yüksek irtifa), hangi amaç için dolandığını araştırınız. Elde ettiğiniz verilerden hareketle bir tablo hazırlayınız.

Kütle Çekim Kuvvetinin Bulunuşu ve Matematiksel Modeli

"Bir ağacın dalından kopan elmanın yere düşmesi gibi Ay da Dünya'nın üzerine düşebilir mi? Ay, neden doğrusal bir zeminde ilerlemeyip Dünya'nın etrafında hareket ediyor?" gibi sorular, geçmişte birçok bilim insanının zihnini meşgul etmiştir. Isaac Newton (Ayzek Nivtın) da benzer soruların yanıtını bulmaya çalışırken Ay'ın Dünya etrafındaki dolanım hareketini incelemeye başladı. Ay'a etki eden net bir kuvvet olmadıkça Ay'ın uzayda doğrusal bir düzlemde ilerlemesi gerektiğini düşündü. Ay'ın, sanki Dünya'ya bir iple bağlanmış gibi yörüngesinden çıkmadan hareket etmesi, bir kuvvetin varlığına işaret ediyordu. Newton, elmanın yere düşmesini sağlayan kuvvet ile Ay'ın, Dünya'nın yörüngesinde hareket etmesine neden olan kuvvetin aynı kuvvet olabileceğini fark etti. Newton'dan önce birçok bilim insanı, gezegenlerin ve Ay'ın hareketine dair gözlemler yapmış ve astronomik çalışmalar yürütmüştü. Fakat daha önce böyle bir kuvvetin matematiksel modeli ortaya konamamıştı. Newton; Nicolaus Copernicus (Nikolas Kopernik), Tycho Brahe (Tiko Brahe), Galileo Galilei (Galileo Galilei) ve Johannes Kepler (Yuhannıs Kepler) gibi bilim insanlarının çalışmalarından yararlanarak gözlemlerini astronomik verilerle birleştirmiş ve matematiksel bir model meydana getirmiştir.

Newton bu modeli, 1687 yılında *Doğa Bilimlerinin Matematik İlkeleri* isimli kitabında yayımlamıştır (Görsel 1.25). Newton, kütle çekim kuvvetini şu şekilde açıklamıştır:

Evrendeki her madde parçacığı, parçacıkların kütlelerinin çarpımı ile doğru ve aralarındaki mesafenin karesiyle ters orantılı bir kuvvetle birbirini çeker.



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

IMPRIMATUR
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.

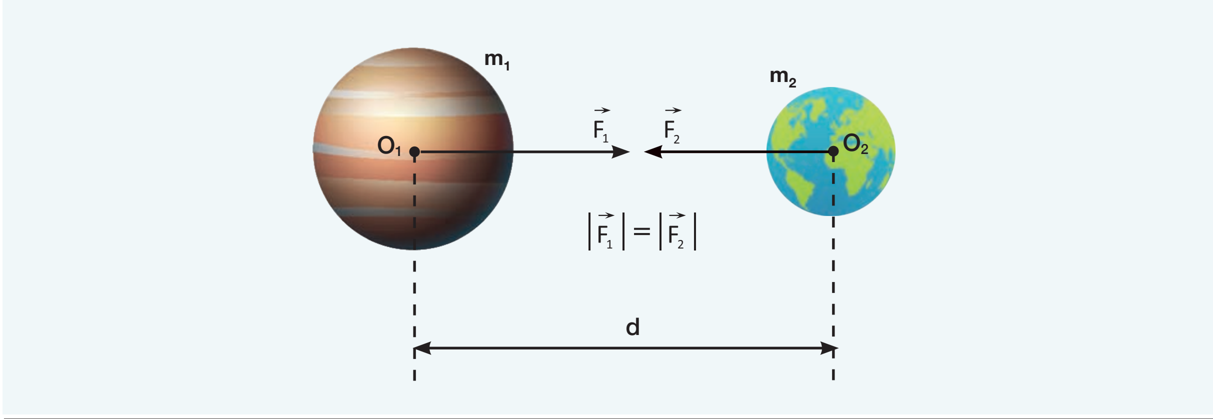
LONDINI,

Görsel 1.25: *Newton'ın Doğa Bilimlerinin Matematik İlkeleri adlı kitabı*

Bu tanıma göre kütle çekim kuvvetinin büyüklüğü şu şeklide ifade edilir:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

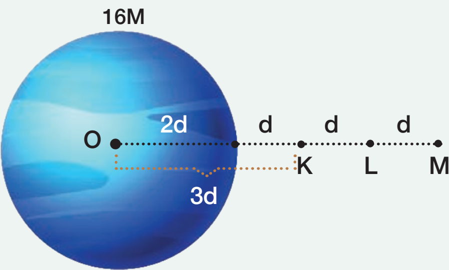
Formüldeki m_1 ve m_2 kütleyi, d kütlelerin merkezleri arasındaki uzaklığı belirtir. G ise evrensel çekim sabitini gösterir ve değeri yaklaşık $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ newton · metre²/kilogram²dir ($N \cdot m^2/kg^2$). Şekil 1.24'te görüldüğü gibi $\vec{F_1}$ ve $\vec{F_2}$ kuvvetleri aynı doğrultudadır. Kuvvetler, eşit büyüklükte fakat zıt yönlüdür.



Şekil 1.24: Aralarında d kadar uzaklık bulunan m_1 ve m_2 kütleli iki cismin birbirine uyguladığı kütle çekim kuvvetlerinin yönü

SORU 1

16M kütleli, O merkezli gezegenin yarıçapı 2d kadardır. K noktası gezegenin yüzeyinden d, L noktası 2d, M noktası 3d uzaklıktadır.



Kütlesi m olan noktasal bir cisim, gezegenin kütle merkezinden çizilen doğru üzerindeki K, L ve M noktalarında bulunduğunda kütle çekim kuvveti nasıl ifade edilir?

ÇÖZÜM

m kütleli noktasal cisim K noktasındayken kütle çekim kuvveti şu şekilde ifade edilir:

$$F_K = G \frac{16M \cdot m}{(3d)^2}$$

m kütleli noktasal cisim L noktasındayken kütle çekim kuvveti şu şekilde ifade edilir:

$$F_L = G \frac{16M \cdot m}{(4d)^2}$$

m kütleli noktasal cisim M noktasındayken kütle çekim kuvveti şu şekilde ifade edilir:

$$F_M = G \frac{16M \cdot m}{(5d)^2}$$

UYGULAMA » 1

Bir gezegenin merkezinden d kadar uzaklıkta bulunan cisme uygulanan kütle çekim kuvveti F kadardır. **Gezegenin boyutları aynı kalmak üzere özkütlesi daha büyük olsaydı cisme uygulanan kütle çekim kuvveti nasıl değişirdi? Açıklayınız.** (Cismin konumu değişmemektedir.)

UYGULAMA » 2

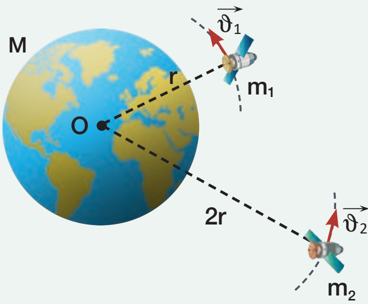
Aralarında d kadar uzaklık bulunan farklı kütleli iki cismin birbirine uyguladığı kütle çekim kuvvetinin büyüklüğü F'dir.

Buna göre aşağıdaki işlemlerden hangileri kütle çekim kuvvetinin büyüklüğünü değiştirir?

- I. Cisimlerin kütleleri ve aralarındaki uzaklık iki katına çıkarılır.
- II. Cisimlerin kütleleri ve aralarındaki uzaklık yarıya indirilir.
- III. Cisimler birbirine yaklaştırılır.
- IV. Cisimlerden birinin kütlesi azaltılır.

SORU 2

Bir gezegenin etrafında r ve 2r yarıçaplı yörüngelerde şekildeki gibi dolanan iki uydunun kütleleri m_1 ve m_2'dir. Gezegen, uydulara eşit büyüklükte kütle çekim kuvveti uygulamaktadır.



M kütleli gezegenin uydulara eşit büyüklükte kütle çekim kuvveti uygulamasını nasıl açıklarsınız?

ÇÖZÜM

Kütle çekim kuvveti, gezegenin kütle merkezi ile cisim arasındaki uzaklığın karesiyle ters, cismin kütlesi ile doğru orantılı olarak değişir.

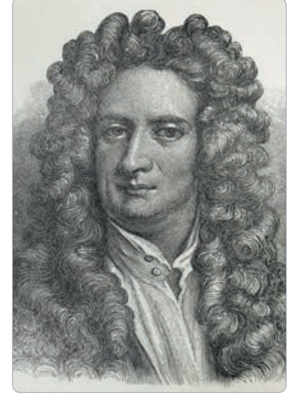
Kütle çekim kuvvetlerinin eşit olabilmesi için uzakta olan cismin kütlesinin daha büyük olması gerekir. Bu durumda m_2 kütleli cismin kütle değerinin m_1 kütleli cisme göre daha fazla olduğu görülür.

UYGULAMA » 3

Sabit bir yörüngede dolanan yapay uydunun kütlesi azaltıldığında uyduya uygulanan kütle çekim kuvveti ve uydunun çizgisel hızı nasıl değişir? Gerekçeleriyle yazınız.

1.4.2. Kütle Çekim İvmesinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Havaya bırakılan bir cismin yere doğru hareket etmesi, yerin cisme uyguladığı kütle çekim kuvvetinin göstergesidir. Diğer bir deyişle yer, havadaki cisme çekim kuvveti uygularken havadaki cisim de yere bir çekim kuvveti uygular. Bu durumda şu soru akla gelmektedir: Havadaki nesneler, Dünya'nın uyguladığı çekim kuvveti sayesinde aşağı doğru inerken Dünya'nın da nesneye doğru hareket etmesi gerekmez mi? Nesneler de aynı büyüklükte bir kuvvet ile Dünya'yı çeker fakat Dünya'nın kütlesi çok büyük olduğu için nesneye doğru yönelmesi söz konusu olamaz. Bu durum, düz bir yolda park hâlindeki bir arabayı itmeye benzer. Arabanın hareket etmemesi, ona kuvvet uygulanmadığı anlamına gelmez. Isaac Newton'ın (Görsel 1.26) Üçüncü Hareket Kanunu'na göre araba da iten kişiye eşit büyüklükte zıt yönde bir kuvvet uygular.



Görsel 1.26: *Isaac Newton (temsilî)*

Newton'ın İkinci Hareket Kanunu'na göre kütlesi olan bir cisme net bir kuvvet uygulandığında o cisim ivme kazanır (temel kanun). Bu kanun, $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ şeklinde ifade edilir. Buradaki $\vec{a}$ sembolü ivmeyi temsil eder. Yeryüzündeki bir cismin ivmesi, Dünya'nın çekim kuvvetiyle oluşan yer çekimi ivmesidir ve $\vec{g}$ ile gösterilir. Yer çekimi ivmesinin SI'da birimi metre/saniye²dir (m/s²). Bu durumda $\vec{a}$ yerine $\vec{g}$ yazılırsa bir cismin ağırlığı, $m \cdot \vec{g}$ olur. Kütle çekim kuvveti, cismin ağırlığını belirler. Kütle çekim kuvveti ile cismin ağırlığı birbirine eşitlendiğinde $\vec{g}$ yer çekimi ivmesi şu şekilde hesaplanır:

$$|m \cdot \vec{g}| = |\vec{F}|$$

Çekim kuvveti formülünde mesafeyi temsil eden d yerine Dünya'nın yarıçapı r yazılırsa

$$m \cdot g = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$ eşitliğine ulaşılır.

Dünya'nın yüzeyindeki yer çekimi ivmesinin büyüklüğü

$$g = G \cdot \frac{M}{r^2}$$ olarak bulunur.

Tüm gezegenlerin yüzeyindeki kütle çekim ivmesi, yukarıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir. Burada G, evrensel çekim sabitini, M gezegenin kütlesini, r yüzeydeki nokta ile gezegenin kütle merkezi arasındaki uzaklığı temsil eder. Bir gezegenin kütlesi (M), hacmiyle (V) ve ortalama yoğunluğuyla (d) ilgilidir. Çünkü kütle, $M = d \cdot V$ olarak ifade edilen temel bir büyüklüktür. Gezegenin şekli küresel ve homojen kabul edildiğinde

$$g = G \cdot \frac{d \cdot V}{r^2} = G \cdot \frac{d \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{r^2} = G \cdot \frac{4\pi\, d \cdot r}{3}$$

bağıntısındaki $G \cdot \frac{4\pi}{3}$ sabit değerleri, k sabiti olarak değerlendirilirse yer çekimi ivmesinin büyüklüğü şu şekilde ifade edilebilir:

$$g = k \cdot d \cdot r$$

Bu bağıntı, hem gezegenin içindeki hem de gezegenin yüzeyindeki bir noktada kullanılabilir. Bağıntıda r uzaklığının maksimum değeri, gezegenin yüzeyindeki bir noktada olur. Ancak gezegenin yüzeyinden sonra $g = k \cdot d \cdot r$ formülü geçerliliğini kaybeder. Çünkü M kütlesi, gezegenin dışını kapsayacak şekilde seçilemez.

UYGULAMA » 4

Merkür, Venüs, Dünya ve Mars kayaç gezegenlerinin yüzeylerindeki ortalama kütle çekim ivmesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Gezegenler	Merkür	Venüs	Dünya	Mars
Kütle Çekim İvmesi (m/s²)	3,70	8,87	9,81	3,84

Tabloya dikkat edildiğinde verilen dört gezegenin yüzeyindeki yer çekimi ivmesinin farklı olduğu görülür.

Bu gezegenler hakkında araştırma yaparak kütle çekim ivmelerinin farklı olmasının sebeplerini gerekçeleriyle yazınız.

UYGULAMA » 5

Yer çekimi ivmesi ($\vec{g}$) ile ilgili aşağıda verilen soruları cevaplayınız.

1. Dünya yüzeyindeki her noktada yer çekimi ivmesi aynı değerde midir? Neden?

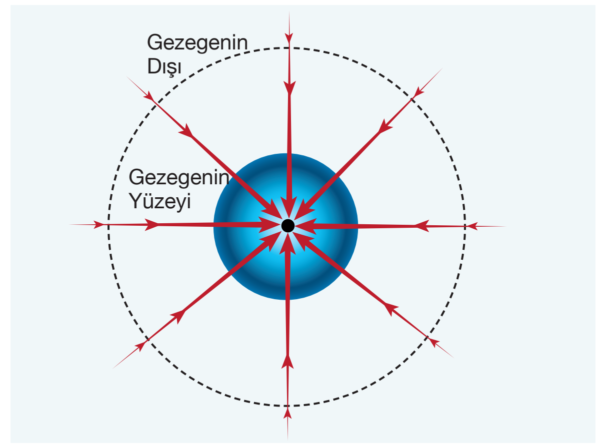
2. Dünya'nın kütlesi daha fazla olsaydı ağırlığınız bundan ne şekilde etkilenirdi? Açıklayınız.

3. Bir cismin ağırlığı yeryüzünün her tarafında aynı mıdır? Neden?

4. Dünya yüzeyinde bir cismin ağırlığının en fazla farklılık gösterebileceği iki bölge sizce nerelerdir? Gerekçeleriyle açıklayınız.

Çekim Alanındaki Kuvvet Çizgileri

Kütle çekim ivmesi, gezegen homojen bir küre olarak kabul edildiğinde homojen bir gezegenin merkezi ile cismin bulunduğu konum arasındaki mesafenin karesine bağlı olarak değişeceği için gezegenin içinde, yüzeyinde ve yüzeyinden uzaklaşıldıkça farklı değerler alır. Bununla birlikte çekim alanını gösteren kuvvet çizgileri, her noktada merkeze yöneliktir. Bu kuvvet çizgileri, Şekil 1.25'teki gibi küresel cismin merkezine doğru ve düzgün çizilir.

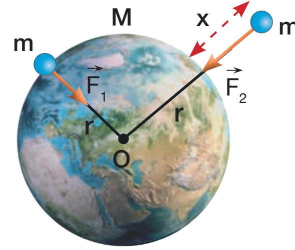


***Şekil 1.25:** Çekim alanındaki düzgün kuvvet çizgileri*

Gezegenin Dışında Çekim İvmesi

Gezegenin yüzeyinden uzaklaşıldıkça çekim ivmesinin büyüklüğü azalır. Şekil 1.26'da gösterilen gezegenin yüzeyinden x kadar yükseklikte çekim ivmesinin büyüklüğü şu şekilde ifade edilir:

$$g = G \cdot \frac{M}{(r+x)^2}$$

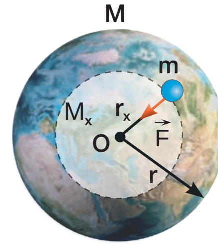


Şekil 1.26: *m kütleli cisimlere etki eden çekim alanı kuvvet çizgilerinin yönü*

Gezegenin İçinde Çekim İvmesi

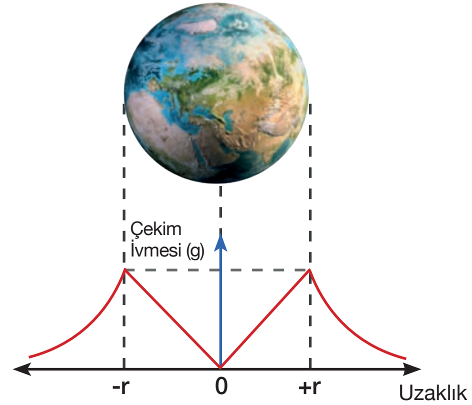
Çekim ivmesi, gezegenin merkezinde sıfır kabul edilir. Gezegenin merkezinden yüzeyine doğru gidildikçe çekim ivmesi düzgün olarak artar. İç kısmından yüzeye kadar olan bölümde çekim ivmesinin düzgün olarak artmasının nedenlerinden biri, çekim ivmesini oluşturan kütlenin, gezegenin tüm kütlesi (M) değil, sadece seçilen küresel parçanın kütlesi (M_x) olmasıdır. Bu durumda r, yüzeyle merkez arasındaki uzaklık olarak kabul edilirse bağıntıdaki uzaklık, merkez ile seçilen nokta arası mesafe (r_x) olur. r_x uzaklığı da r mesafesinden daha kısa olur. Şekil 1.27'de gösterilen gezegenin merkezinden r_x kadar uzaklıktaki bir noktada çekim ivmesinin büyüklüğü şu şekilde ifade edilir:

$$g = G \cdot \frac{M_x}{(r_x)^2}$$



Şekil 1.27: *Gezegenin merkezinden r_x kadar mesafedeki m kütleli cisme etki eden çekim alanı kuvvet çizgisinin yönü*

Grafik 1.1'de küresel varsayılan bir gezegenin çekim ivmesinin uzaklığa bağlı değişimi gösterilmiştir. Bundan hareketle merkezden yüzeye kadar merkezcil ivmenin düzgün arttığı, gezegenin yüzeyinde maksimum değere ulaştığı, gezegenin yüzeyinden uzaklaşıldıkça parabolik olarak azaldığı söylenebilir.



Grafik 1.1: *Çekim ivmesinin uzaklığa bağlı değişim grafiği*



SİMÜLASYON 6 | Süre | 20 dk.

Simülasyonun Adı	Çekim Alanını Gösteren Kuvvet Çizgileri
Simülasyonun Amacı	Gök cisimleri arasındaki çekim alanını gösteren kuvvet çizgilerinin yönünü açıklayabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız.
2. Yörüngesel düzlemde hareket eden Güneş-Dünya, Dünya-Ay, Dünya-yapay uydu, Güneş-Dünya-Ay arasındaki çekim alanını gösteren kuvvet çizgilerini (yavaş, normal ve hızlı şekilde) inceleyiniz.
3. Kuvvet çizgileri ile hız vektörleri arasındaki ilişkiyi analiz ediniz.

Simülasyonun Değerlendirmesi

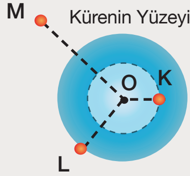
1. Çekim kuvvetinin artması veya azalması, kuvvet çizgilerinin yönünü değiştirir mi? Açıklayınız.

2. Gök cisimlerine bağlı olarak kuvvet çizgilerinin yönünde herhangi bir değişim gözlemlediniz mi? Açıklayınız.

Gezegenlerin kütlesi devasa olduğu için yüzeylerinden çok uzaklarda bile kütle çekimlerinin etkisi görülür. Kütle çekimi, sadece gezegenlere veya gök cisimlerine ait bir kuvvet değildir. Kütlesi olan her cismin bir kütle çekimi vardır. Fakat günlük hayatta görülen cisimlerin birbirine uyguladığı çekim kuvveti, gök cisimlerinin birbirine uyguladığı kuvvet yanında önemsenmeyecek derecede küçüktür.

UYGULAMA » 6

Homojen bir kürenin içinde, yüzeyinde ve dışında eşit kütleli cisimlere uygulanan çekim alanını gösteren kuvvet çizgilerini çiziniz. Cisimlerin K, L ve M noktalarındaki kütle çekim ivmesi birbiriyle kıyaslanabilir mi? Açıklayınız.



SORU 3

Dünya’nın kütlesi M, yarıçapı r kabul edildiğinde

a) Dünya'nın yüzeyindeki yer çekimi ivmesini, Dünya'nın yarıçapı ve kütlesi cinsinden ifade ediniz.

b) Dünya'nın yüzeyinden r kadar uzaklıkta yer çekimi ivmesini, Dünya'nın yarıçapı ve kütlesi cinsinden ifade ediniz.

c) Dünya'nın merkezinden 3r kadar uzaklıkta yer çekimi ivmesini, Dünya'nın yarıçapı ve kütlesi cinsinden ifade ediniz.

ÇÖZÜM

a) Dünya'nın yüzeyindeki yer çekimi ivmesi şu şekilde ifade edilir:

$$g_1 = G \cdot \frac{M}{r^2}$$

b) Dünya'nın yüzeyinden r kadar uzakta yer çekimi ivmesi şu şekilde ifade edilir:

$$g_2 = G \cdot \frac{M}{(r + r)^2}$$

c) Dünya'nın merkezinden 3r kadar uzakta yer çekimi ivmesi şu şekilde ifade edilir:

$$g_3 = G \cdot \frac{M}{(3r)^2}$$

ARAŞTIRMA

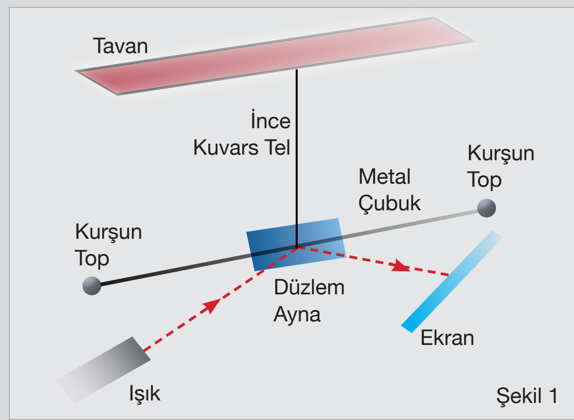
Dünya’nın yüzeyinde ortalama yer çekimi ivmesi, Ay’ın yüzeyine göre yaklaşık 6 kat fazladır. Bir kişinin Ay ve Dünya’daki ağırlığını, bu gök cisimlerinde kişiye etkiyen çekim kuvvetini, çekim kuvvetinin az veya fazla olmasının avantaj ve dezavantajlarını araştırınız. Ulaştığınız bilgileri bir sunum hazırlayıp sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

ETKİNLİK 4	Süre 20 dk.
Etkinliğin Adı	Her Kütlenin Bir Çekim Alanı Vardır
Etkinliğin Amacı	Kütle çekim kuvvetinin varlığını açıklayabilme.
Araç Gereç	Kalem, kâğıt.

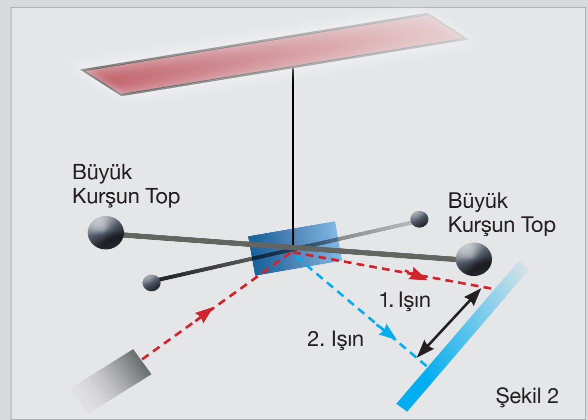
Yönerge: Aşağıda verilen metni ve görselleri inceleyiniz. "Etkinliğin Değerlendirmesi" kısmında verilen soruları cevaplayınız.

Bilim insanları, laboratuvar ortamında kütle çekim kuvvetinin etkisini gözlemlemek için aşağıdaki deney düzeneklerini kurmuştur. Şekil 1'de verilen ve günümüzde Cavendish (Kavendiş) terazisi olarak bilinen deney düzeneğinin aşamaları kısaca şu şekilde tarif edilebilir:

1. Tavana bağlı, serbestçe dönebilen ince kuvars tele terazi görevi görecek metal bir çubuk bağlanır.
2. Metal çubuğun uçlarına, çubuk dengede kalacak şekilde, küçük ve küresel kurşun toplar takılır.
3. Metal çubuğun ortasına ışığı yansıtmak için kullanılacak düzlem ayna yapıştırılır.
4. Düzlem aynaya belli bir açıyla ışık tutularak yansıyan ışığın düştüğü nokta ekranda kaydedilir.



Şekil 1



Şekil 2

Deney düzeneğinde bir değişiklik yapılır. Küçük kurşun toplardan birinin arkasına, diğerinin önüne gelecek şekilde merkezleri çakışık olan büyük kurşun toplar, Şekil 2'de gösterildiği gibi yerleştirilir. İkinci düzenekte ipin burulduğu görülür. Aynadan yansıyıp ekran üzerine düşen ışın tekrar kaydedilir.

Etkinliğin Değerlendirmesi

1. Düzlem aynadan yansıyan ışığın dönmesi, aynanın dönme yönü hakkında nasıl bir fikir verir?



2. Aynayı döndüren kuvvet ne olabilir? Gerekçeleriyle açıklayınız.



3. Büyük kurşun toplar soldakinin önüne, sağdakinin arkasına gelecek şekilde yerleştirilseydi ne gibi sonuçlar beklenirdi? Gerekçeleriyle açıklayınız.



4. Deney sonuçları dikkate alındığında kütle çekim kuvvetinin bütün kütleler arasında gözlemlendiği söylenebilir mi? Gerekçeleriyle açıklayınız.

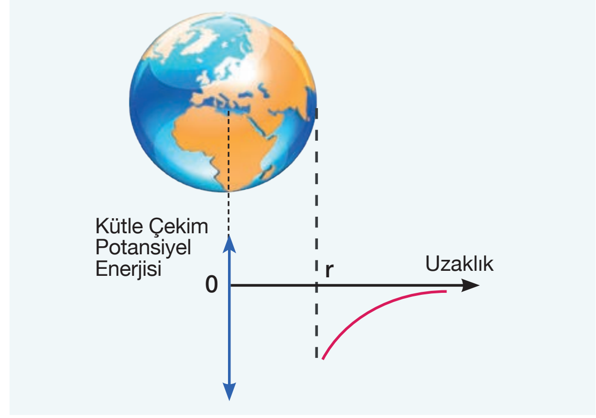


1.4.3. Kütle Çekim Potansiyel Enerjisi

Yeryüzünden belli bir yükseklikteki cisimlerin kütle çekim potansiyel enerjisi $E_p = m \cdot g \cdot h$ eşitliğiyle gösterilebilir. h yüksekliği, Dünya'nın yarıçapına göre çok küçük olduğundan g yer çekimi ivmesi sabit kabul edilebilir. Yeryüzünden çok uzak noktalarda kütle çekim potansiyel enerjisi, g değerine bağlı olarak değişiklik göstereceğinden $m \cdot g \cdot h$ bağıntısı, bir cismin kütle çekim potansiyel enerjisini hesaplamak için yeterli olmaz. Bu durumda bir cismin kütle çekim potansiyel enerjisini, yeryüzünden çok uzak noktalar için daha genel bir bağıntı ile ifade etmek gerekir. M kütleli gezegen ve etrafında dolanan m kütleli uydunun oluşturduğu sisteme ait kütle çekim potansiyel enerjisinin bağıntısı şu şekilde gösterilebilir:

$$E_p = -G \cdot \frac{M \cdot m}{d}$$

Gezegenin kütle çekim alanı sonsuzda sıfır olduğundan sonsuzdaki kütlenin kütle çekim potansiyel enerjisi sıfır olur. Sonsuzda sıfır olan kütle çekim potansiyel enerjisinin, cisim Dünya'nın çekim alanına girdiğinde yani Dünya'ya yaklaştığında negatif değerde artması gerekir (Grafik 1.2). Formülün başındaki eksi işaretinin anlamı budur.



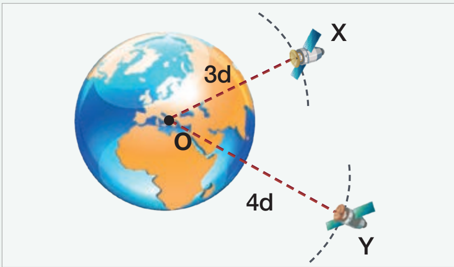
Grafik 1.2: *Kütle çekim potansiyel enerjisinin uzaklığa bağlı değişim grafiği*

UYGULAMA » 7

Zıt işaretli iki yükün elektriksel potansiyel enerjisi ile iki kütlenin kütle çekim potansiyel enerjisi arasında nasıl bir benzerlik kurulabilir? İki yük ve kütlenin temsilî çizimini yaparak benzerlik ve farklılıklarını belirtiniz.

SORU 4

X ve Y uyduları, Dünya'nın merkezinden sırasıyla 3d ve 4d uzaklıkta çembersel yörüngelerde dolanmaktadır. X uydusunun kütlesi 9m, Y uydusunun 12m'dir.



Buna göre iki uydunun kütle çekim potansiyel enerjileri nasıl ifade edilir?

ÇÖZÜM

X uydusunun kütle çekim potansiyel enerjisi şu şekilde ifade edilir:

$$E_X = -G \cdot \frac{M \cdot 9m}{3d}$$

Y uydusunun kütle çekim potansiyel enerjisi şu şekilde ifade edilir:

$$E_Y = -G \cdot \frac{M \cdot 12m}{4d}$$

Bağıntılardan anlaşılacağı üzere her iki uydunun kütle çekim potansiyel enerjisi eşittir.

UYGULAMA » 8

Dünya'nın merkezinden d kadar uzaklıkta dolanan bir K uydusunun kütle çekim potansiyel enerjisi -E'dir. L uydusunun ise kütle çekim potansiyel enerjisi -2E'dir.
Eşit kütleli K ve L uydularının verilen kütle çekim potansiyel enerjileri ile bulundukları noktalar dikkate alındığında L cisminin konumu hakkında ne söylenebilir?

Kurtulma Enerjisi

Bir elma, yeryüzünden havaya doğru atıldığında bir süre sonra geri döner. Bunun sebebi elmanın, Dünya'nın kütle çekim alanından çıkamamasıdır. Dünya veya başka bir gezegenden fırlatılan bir cismi gezegenin çekim alanından çıkarmak için fırlatılma esnasında gerekli olan minimum hıza **kurtulma hızı** denir. Bir cismi gezegenin çekim alanı dışına çıkarmak için gerekli olan minimum enerjiye **kurtulma enerjisi** denir. Gezegenin yüzeyinde duran bir cismin sahip olduğu enerji, kütle çekim potansiyel enerjisidir ve negatif değerdedir. Kurtulma enerjisi, kütle çekim potansiyel enerjisinin pozitif değeri kadar olmalıdır. Kurtulma hızıyla fırlatılan cismin sonsuzdaki hızı ve enerjisi sıfır olur. Tablo 1.1'de bir cismin, bazı gök cisimlerinin çekim alanından kurtulmak için ihtiyaç duyduğu fırlatılma hızlarının yaklaşık değeri verilmiştir. Tabloda en büyük kurtulma hızı değerinin Güneş, en düşük kurtulma hızı değerinin Ay için geçerli olduğu görülmektedir.

Tablo 1.1: Bazı Gök Cisimlerinin Yüzeyinden Yaklaşık Kurtulma Hızları

Gök Cismi	Kurtulma Hızı (km/h)
Ay	8 280
Merkür	15 480
Venüs	37 080
Dünya	40 320
Mars	18 000
Jüpiter	216 000
Satürn	129 600
Neptün	79 200
Güneş	2 224 800

MERAKLISINA BİLİM



Genelde kurtulma hızı veya enerjisi roketler üzerinden örneklense de bir elmanın ve uzay aracının Dünya'dan kurtulma hızı eşittir. Bununla birlikte kütle farkından dolayı kurtulma enerjileri farklıdır.

UYGULAMA » 9

Jüpiter ve Mars gezegenlerinden ayrılmak isteyen aynı niteliklere sahip iki uzay aracının ihtiyaç duyacağı kurtulma hızı farklıdır. Jüpiter gezegeninden kurtulma hızı, Mars'a göre yaklaşık 12 kat fazladır.
Bu durumun sebepleri nelerdir?

Bağlanma Enerjisi

Bir gezegenin yörüngesinde hareket eden bir uyduyu çekim alanından çıkarmak için uyduya verilmesi gereken enerjiye **bağlanma enerjisi** denir. Yörüngede hareket eden uydunun iki enerjisi vardır. Birincisi kütle çekim potansiyel enerjisi, ikincisi kinetik enerjidir. Bu enerjilerin toplamı, uydunun toplam enerjisidir ve negatif değerde olur. Bağlanma enerjisi, toplam enerjinin pozitif değeri kadar olmalıdır. Diğer bir deyişle uyduyu Dünya'nın çekim alanından kurtarmak için toplam enerjinin mutlak değeri kadar enerji harcamak gerekir. Bir uydunun gezegenden daha uzak yörüngelerde hareket ediyor olması, kütle çekim alanından uzaklaştığı için, bağlanma enerjisinin de daha küçük olacağı anlamına gelir. Bu durumda uyduyu sonsuza göndermek için gereken enerji de azalacaktır. Uydunun sonsuzdaki hızı ve enerjisi sıfır olur.

SORU 5

Dünya'nın merkezinden d kadar uzaklıkta dolanan bir K uydusunun toplam enerjisi -E'dir. Aynı kütleli L uydusunun toplam enerjisi ise -2E'dir.

Parçada verilen uyduları yörüngelerinden uzaklaştırıp kütle çekim alanından çıkarmak için kaç E'lik enerjiye ihtiyaç vardır?

ÇÖZÜM

Bir uyduya toplam enerjisi büyüklüğünde bir enerji verilirse uydu, çekim alanından çıkarılabilir. Bu enerjinin ismi bağlanma enerjisidir. Bu durumda K uydusuna +E, L uydusuna +2E bağlanma enerjisi verildiğinde uydular kütle çekim alanından çıkarılabilir.

UYGULAMA » 10

Kurtulma enerjisi ile bağlanma enerjisi arasındaki farkları gözeterek tabloyu doldurunuz.

	Sorular	Kurtulma Enerjisi	Bağlanma Enerjisi
1.	Bu enerjiler gezegenin hangi bölgesi baz alınarak hesaplanır? (Gezegenin yüzeyi/Gezegenin dışı)		
2.	Uydulara bu enerjilerin verilmesinin temel amacı nedir?		
3.	Enerji büyüklüklerinin işareti nedir?		
4.	Uyduların, gezegenin çekim alanından çıktıktan sonraki enerji değişimleri için ne söylenebilir?		

1.5. KEPLER KANUNLARI



Anahtar Kavramlar

Kepler Kanunları



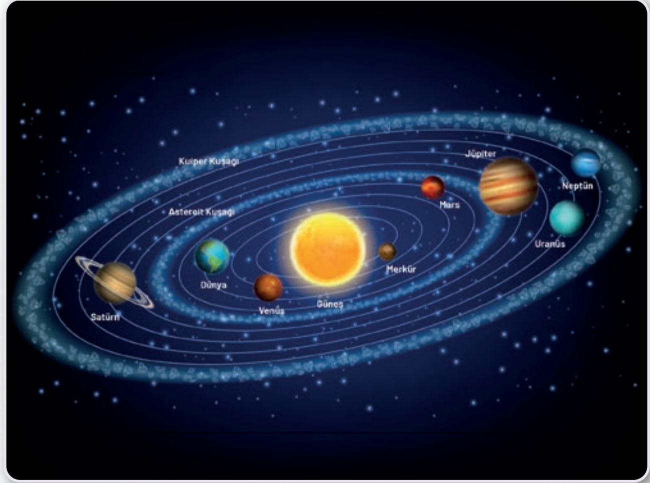
NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde Galileo Galilei, Ali Kuşçu, Uluğ Bey ve Johannes Kepler'in gök cisimleri ve gök cisimlerinin hareketleri ile ilgili görüşleri, çalışmaları ve bilime yaptıkları katkılar verilecek; Kepler'in bilim dünyasına sunduğu üç kanun üzerinde durulacaktır.



GÜNEŞ SİSTEMİNİN KÜTLESİ VE SINIRLARI

Kütle bakımından Güneş sisteminin yaklaşık %99,86'sını Güneş oluşturur. Güneş dışındaki tüm gök cisimleri, kütle olarak Güneş sisteminin %0,14'ünü meydana getirir. Güneş sisteminde bulunan sekiz gezegenin toplam kütlesinin, Güneş'in kütlesi yanında oldukça küçük olduğu görülür. %0,14'lük kısımdan bazı gezegenler kütlece daha fazla pay alır. %0,14'lük oranın yaklaşık %99'unu Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün gezegenleri oluşturur. Geriye kalan %1'ini ise Dünya, Mars, Venüs, Merkür, cüce gezegenler, uydular, asteroitler, kuyruklu yıldızlar ve diğer gök cisimleri meydana getirir. Güneş'in kütlesi, Güneş sisteminin en büyük gezegeni olan Jüpiter'in kütlesinin yaklaşık 1047 katıdır.



Güneş sisteminin sınırları henüz tam olarak bilinmemektedir. Güneş sisteminde Güneş'e en uzak gezegen Neptün'dür. Bununla birlikte Neptün gezegeninin ötesinde birçok gök cismi olduğu bilinmektedir. Neptün gezegeninden sonra yer alan bölge, Kuiper (Kaypır) Kuşağı olarak adlandırılır. 1930 yılında keşfedilen ve Güneş siteminin en dış gezegeni olarak tanımlanan Plüton, 2006 yılında gezegenlikten çıkartılmış ve cüce gezegen olarak sınıflandırılmıştır. Plüton, Kuiper Kuşağı'nda yer alan cüce gezegenlerden biridir. Kuiper Kuşağı dışında da birçok gök cismi vardır. Bu gök cisimlerinin, kütle çekim kuvvetinin etkisiyle Güneş sistemine bağlanması güç bir ihtimal olarak değerlendirilmektedir.



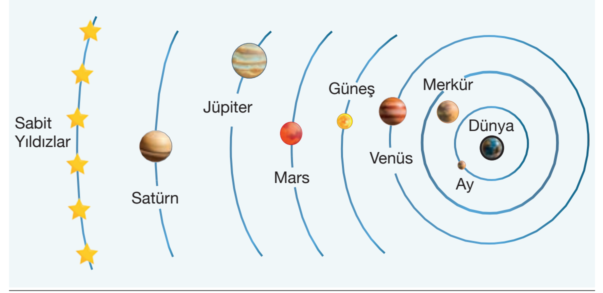
HAZIRLIK SORULARI

1. **Güneş sistemindeki tüm gezegenlerin kütlesinin toplamı, Güneş'in kütlesi ile kıyaslandığında sizce nasıl bir sonuç çıkar?**
2. **Sizce hangi aracın veya aletin icadı astronomide dönüm noktası olarak kabul edilmelidir? Tartışınız.**
3. **Amatör astronomların gök cismi gözlemlerine Ay ile başlamasının sebebi sizce ne olabilir?**

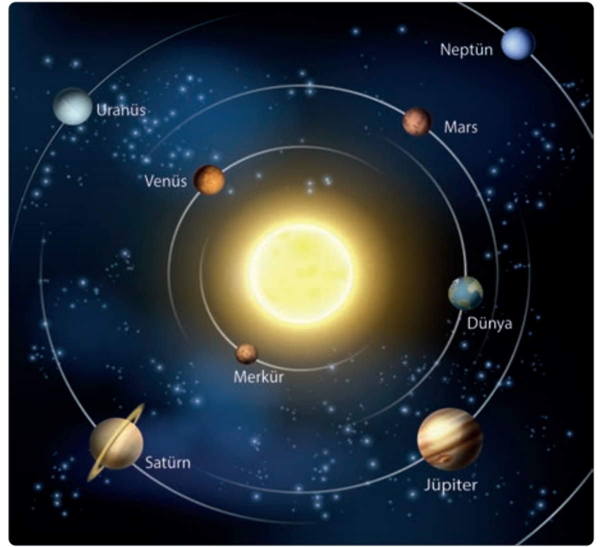
1.5.1. Gök Cisimleri ve Gök Cisimlerinin Hareketleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

İnsanlar, eski dönemlerde gökyüzü gözlemlerinden günlük hayattaki ihtiyaçlarını karşılamak için faydalanmışlardır. Yön bulabilmek için yıldızların konumlarını kullanmış, işlerini planlamak için Ay ve Güneş'in hareketlerine göre takvimler geliştirmişlerdir. Bu çalışmaların, astronomi biliminin temelini teşkil ettiği söylenebilir. Dünyanın farklı coğrafyalarında ve devirlerinde ortaya çıkan birçok medeniyet, astronomi biliminin gelişimine katkıda bulunmuştur. Birçok bilim insanı, yaptığı gözlemler, matematiksel hesaplamalar veya ortaya koyduğu modeller ile evrenin bilinmeyenlerine ışık tutmuştur.

MS 2. yüzyılda yaşayan Batlamyus [Claudius Ptolemaios (Kladyus Ptolemos)], Kopernik'e (15. yy.) kadar geçerliliğini sürdüren bir evren modeli geliştirmiştir. Evren modelinde Dünya'yı merkeze almış; Güneş, Ay, gezegenler ve diğer gök cisimlerinin Şekil 1.28'deki gibi Dünya'nın çevresinde dairesel olarak dolandığı fikrini (yer merkezli evren modeli) ileri sürmüştür. Bu alandaki çalışmalarını 13 ciltten oluşan *Almagest* (Almagest) adlı kitapta ortaya koymuştur. Kopernik, evrenin merkezinde Dünya'nın değil Güneş'in olduğunu söylemiş ve Güneş merkezli evren modelini bilim dünyasına açıklamıştır. Kepler, geliştirdiği kanunlar ile Güneş sisteminde dolanan gezegenlerin hareketini tam olarak açıklamayı başarmıştır. Görsel 1.27'de günümüzde kabul gören, Güneş'in merkezde olduğu 8 gezegenli Güneş sistemi gösterilmiştir.



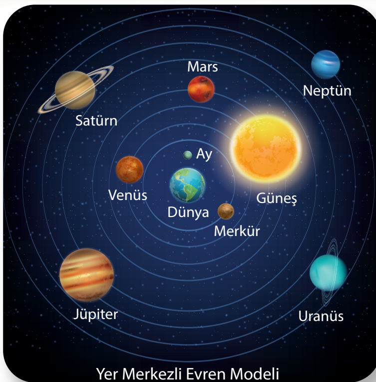
Şekil 1.28: Batlamyus'a göre yer merkezli evren modeli

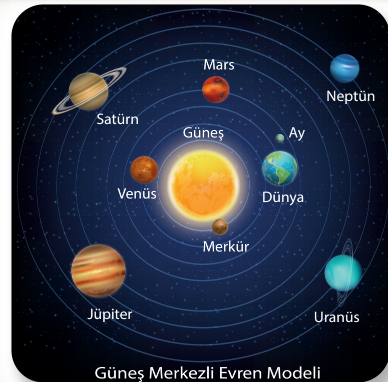


Görsel 1.27: *Güneş sistemindeki gezegenlerin yörüngeleri*

UYGULAMA » 1

Aşağıdaki görseli inceleyiniz. Yer merkezli evren modeli ile Güneş merkezli evren modelinin ortaya çıkması arasında geçen süreyi dikkate alarak aynı gökyüzüne bakan iki bilim insanının farklı sonuçlara ulaşması üzerinde nelerin etkili olabileceğini sınıfta tartışınız. Belirlediğiniz etkileri sıralayınız.





Gök Cisimleri ve Gök Cisimlerinin Hareketleri ile İlgili Çalışmalar Yapan Bazı Bilim İnsanları


Görsel 1.28
Uluğ Bey (temsilî)

Uluğ Bey (1394-1449)

Timur hanedanlığının kurucusu Timur'un torunu olan Uluğ Bey, çağının en önemli astronomi bilginlerinden biridir (Görsel 1.28). Uluğ Bey, hem Timur Devleti'ni yönetmiş hem de astronomi çalışmalarıyla meşgul olmuştur. Hükümdarlığı döneminde gökyüzü gözlemlerini değerlendirebilmek için matematik alanında önemli çalışmalar yapmıştır. Uluğ Bey, 1420 yılında kurduğu medrese ile Semerkant'ı önemli bir bilim merkezi konumuna getirmiştir. 1421 yılında inşa ettiği ve İslam dünyasının en önemli gözlemevlerinden biri olarak kabul edilen Uluğ Bey Rasathanesinde Ali Kuşçu, Kadızâde Rûmî, Cemşîd el-Kâşî gibi önemli bilginlerle çalışmalar yapmıştır.


Görsel 1.29: *Uluğ Bey Rasathanesindeki sekstantın yer altı kısmı*

Uluğ Bey, *Zîc-i Uluğ Bey* (Uluğ Bey'in Astronomi Tabloları / Cetvelleri) adlı 4 bölümden oluşan eserinde astronomi çalışmalarını derlemiş, gök cisimleri ve gök cisimlerinin hareketlerine dair bilgilere yer vermiştir. Eserde 1018 gök cismine ait konum ve bilgiler cetveller hâlinde sunulmuştur. Güneş, Ay ve gezegenlerin görünen hareketleri, hareket teorileri, Ay ve Güneş tutulmaları; Güneş, Ay, gezegen ve yıldızların konumuna dair hesaplamalar aktarılmıştır. Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn gezegenlerinin yıllık hareket değerlerine de çalışmada yer ayrılmıştır. Görsel 1.29'da Uluğ Bey Rasathanesinde bulunan ve yıldızlarla ilgili astronomik ölçümler yapmaya yarayan dev astronomik aracın (sekstant) yer altındaki kısmı görülmektedir.

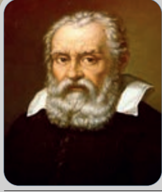

Görsel 1.30
Ali Kuşçu (temsilî)

Ali Kuşçu (1403-1474)

Semerkant'ta doğan Ali Kuşçu (Görsel 1.30), 15. yüzyılda yaşamış önemli bilginlerden biridir. Uluğ Bey ile birlikte çalışan Ali Kuşçu, Uluğ Bey'in ölümü üzerine Semerkant'tan ayrılmıştır. *Zîc-i Uluğ Bey* adlı eserde Ali Kuşçu'nun önemli katkıları vardır. Ali Kuşçu, Fatih Sultan Mehmed'in daveti üzerine astronomi çalışmalarına İstanbul'da devam etmiştir. İstanbul'un enlem ve boylam değerlerini belirlemiş ve İstanbul'da pek çok güneş saati yapmıştır (Görsel 1.31).

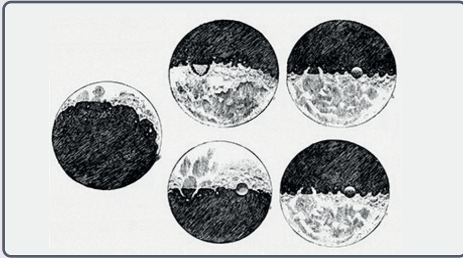

Görsel 1.31: *Güneş saati*

Ali Kuşçu; gezegenlerin konumları, dizilimleri ve yeryüzüne uzaklıkları, Dünya'nın eğim açısı, Ay'ın ayrıntılı haritası gibi birçok konuda çalışma yürütmüştür. Gök cisimleri ve gök cisimlerinin hareketleri hakkında yaptığı çalışmalar ile bilim dünyasına önemli katkılarda bulunmuştur. Ali Kuşçu, astronomi ve matematik sahasında bilim dünyasına önemli eserler bırakmıştır.


Görsel 1.32
Galileo Galilei (temsilî)

Galileo Galilei (1564-1642)

Modern astronominin teleskop ile başladığı söylenebilir. Teleskobun kullanımıyla birlikte gözlemsel verilerde önemli gelişmeler olmuştur. İlk teleskop, 1609 yılında Galileo Galilei (Görsel 1.32) tarafından icat edilmiştir. Teleskobun icadının 400. yılı münasebetiyle 2009 yılı, Dünya Astronomi Yılı olarak ilan edilmiştir. Galileo, icat ettiği teleskop ile Ay ve Güneş'i incelemiş; Ay'ın yüzeyinde kraterler, dağlar ve vadiler olduğunu, Güneş'te lekeler bulunduğunu tespit etmiştir. Böylelikle Batlamyus'un Ay ve Güneş'i kusursuz kabul eden yaklaşımının hatalı olduğu anlaşılmıştır.


Görsel 1.33: Ay'a ait çizimler

Görsel 1.33'te Galileo Galilei'nin kendi teleskobu ile yaptığı Ay gözlemlerine ait çizimler verilmiştir. Galileo Galilei, yıllar süren gözlemlerini ve bu gözlemler sonucunda ortaya koyduğu kuramlarını kitaplaştırarak dünya ile paylaşmıştır. Kopernik'in ileri sürdüğü "Güneş Dünya'nın değil, Dünya Güneş'in etrafında dönmektedir." görüşünün önemli bir savunucusu olmuştur.


Görsel 1.34
Johannes Kepler (temsilî)

Johannes Kepler (1571-1630)

Uzun süre astronomi gözlemleri yapan Kepler (Görsel 1.34), bu gözlemlerin sağladığı verilerden hareketle astronomi alanında üç önemli matematiksel kanuna ulaşmıştır. 1609 yılında yazdığı *Astronomia Nova* (Astronomia Nova) kitabında ilk iki kanunu, 1619 yılında yayımladığı *Harmonices Mundi Libri V* (Harmonikes Mundi Libri 5) adlı kitabında da üçüncü kanunu ortaya koymuştur. Kepler Kanunları olarak bilinen ve bugün de kullanılan bu üç kanun ile modern astronominin gelişimi hızlanmış, Güneş merkezli evren modeli tam olarak kabul görmüştür.


Görsel 1.35: Güneş sistemindeki gezegenler

Güneş sistemindeki gezegenler Görsel 1.35'te gösterilmiştir.

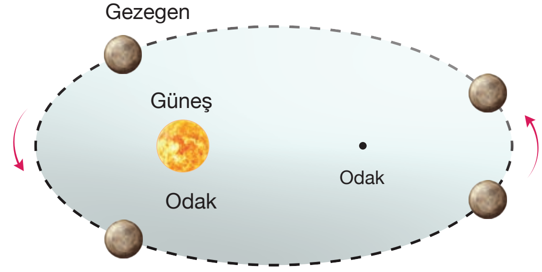
ARAŞTIRMA

Galileo Galilei, Ali Kuşçu ve Uluğ Bey'in gök cisimleri ve gök cisimlerinin hareketleri ile ilgili çalışmalarını araştırınız. Ulaştığınız verileri bir tablo hazırlayarak sınıf panosunda sergileyiniz.

Kepler'in Yörüngeler, Alanlar ve Periyotlar Kanunu

1. Yörüngeler Kanunu

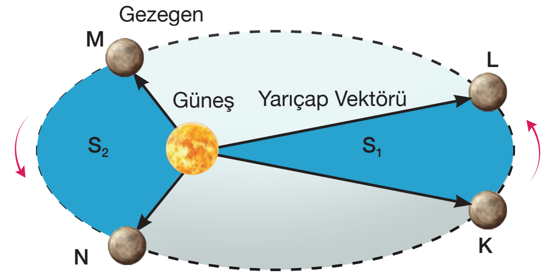
Şekil 1.29'da gösterildiği gibi gezegenler, Güneş'in etrafında eliptik yörüngelerde dolanır. Güneş ise bu elipslerin merkezinde değildir. Elipsin iki odağı vardır. Güneş, bu elipsin odaklarından birinde bulunur. Çembersele yakın eliptik yörüngeler fikri kanunun temelini oluşturur.



Şekil 1.29: Gezegenin Güneş etrafında eliptik yörüngede dolanması

2. Alanlar Kanunu

Şekil 1.30'da gösterildiği gibi gezegenler, elips yörüngelerde Güneş'in etrafında dolanırken Güneş'ten gezegene çizilen yarıçap vektörü, eşit zaman aralığında eşit alan tarar ($S_1 = S_2$). Güneş'e yaklaşan gezegenin çizgisel hızı artar. Güneş'ten uzaklaşan gezegenin çizgisel hızı azalır. Bu durum, gezegenin açısal momentumunu koruduğunu gösterir. Kütle çekim kuvveti artarsa çizgisel hız da artar.



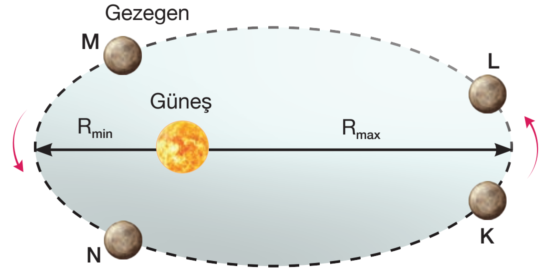
Şekil 1.30: Gezegenin Güneş'in etrafında eşit sürede taradığı alanlar

3. Periyotlar Kanunu

Herhangi bir gezegenin Güneş etrafındaki eliptik yörüngesinin ortalama yarıçapının küpü (R^3), yörünge periyodunun karesi (T^2) ile sabit bir orantıya sahiptir. Güneş sistemindeki bütün gezegenlerde oranın sabit ve aynı çıkması Kepler'in Periyotlar Kanunu'nu doğrulamaktadır. Gezegenin Güneş'e en yakın ve en uzak olduğu noktaların aritmetik ortalaması, gezegenin Güneş'e olan uzaklığının ortalama yarıçapını verir (Şekil 1.31).

Periyotlar Kanunu şu şekilde ifade edilir:

$$\frac{R^3}{T^2} = \text{sabit}$$



Şekil 1.31 Gezegenin Güneş'e yaklaşma ve Güneş'ten uzaklaşma durumu

$$R = \frac{R_{min} + R_{max}}{2}$$

UYGULAMA » 2

Dünya'nın Güneş'e en yakın olduğu nokta günberi, en uzak olduğu nokta günöte olarak adlandırılır. Günberi 3 Ocak, günöte 4 Temmuz günü gerçekleşir.

Dünya'nın Güneş'e ne kadar yaklaştığını ve Güneş'ten ne kadar uzaklaştığını araştırınız. Ulaştığınız verileri Kepler'in Yörüngeler, Alanlar ve Periyotlar Kanunu'nu dikkate alarak değerlendiriniz.

SORU 1

Bir gezegen, Güneş'in etrafında dolanırken bir süre sonra Güneş'e yaklaşır.

Bu veriden hareketle gezegenin

a) yörüngesinin şekli,

b) çizgisel hızı,

c) kütle çekim kuvveti,

ç) merkezcil kuvveti

hakkında Kepler Kanunları göz önünde bulundurularak neler söylenebilir?

ÇÖZÜM

a) Gezegenin Güneş'e yaklaşması onun çembersel değil, Yörüngeler Kanunu'na göre eliptik bir yörüngede hareket ettiğini gösterir.

b) Gezegenin açısal momentumu korunur. $L = m \cdot \vartheta \cdot r$ bağıntısına göre r uzaklığı azalacağından gezegenin çizgisel hızının artması gerekir. Bu durumun, Kepler'in Alanlar Kanunu'na uygun olduğu görülür.

c) Güneş'e olan uzaklık azalacağından gezegenin kütle çekim kuvveti artar.

ç) Gezegenin kütle çekim kuvveti, aynı zamanda merkezcil kuvvettir. Kütle çekim kuvveti arttığı için merkezcil kuvvet artmış olur. Bu iki kuvvetin birbirine eşitlenmesiyle Kepler'in Periyotlar Kanunu'nda yer alan sabit sayıya ulaşılır.

Güneş sistemindeki gezegenlere ait periyot ve yarıçap değerleri kullanılarak $\frac{R^3}{T^2}$ oranları Tablo 1.2'de verilmiştir.

***Tablo 1.2:** Güneş Sistemindeki Gezegenlerin Periyot ve Yarıçap Değerleri*

Gezegenler	Güneş'e Olan Ortalama Uzaklığı (m)	Güneş Etrafında Dolanım Periyodu (s)	$\frac{R^3}{T^2}$ Oranı (m^3/s^2)
Merkür	$5{,}79 \cdot 10^{10}$	$7{,}60 \cdot 10^{6}$	$3{,}36 \cdot 10^{18}$
Venüs	$1{,}08 \cdot 10^{11}$	$1{,}94 \cdot 10^{7}$	$3{,}34 \cdot 10^{18}$
Dünya	$1{,}496 \cdot 10^{11}$	$3{,}156 \cdot 10^{7}$	$3{,}36 \cdot 10^{18}$
Mars	$2{,}28 \cdot 10^{11}$	$5{,}94 \cdot 10^{7}$	$3{,}35 \cdot 10^{18}$
Jüpiter	$7{,}78 \cdot 10^{11}$	$3{,}74 \cdot 10^{8}$	$3{,}36 \cdot 10^{18}$
Satürn	$1{,}43 \cdot 10^{12}$	$9{,}35 \cdot 10^{8}$	$3{,}34 \cdot 10^{18}$
Uranüs	$2{,}87 \cdot 10^{12}$	$2{,}64 \cdot 10^{9}$	$3{,}39 \cdot 10^{18}$
Neptün	$4{,}50 \cdot 10^{12}$	$5{,}22 \cdot 10^{9}$	$3{,}34 \cdot 10^{18}$

UYGULAMA » 3

Tablo 1.2'den faydalanarak aşağıda verilen soruları cevaplayınız.

1. Güneş'in etrafında en hızlı dolanan gezegen hangisidir? Neden?

2. Güneş'in etrafında en yavaş dolanan gezegen hangisidir? Neden?

3. Güneş'in etrafında en uzun sürede periyodunu tamamlayan gezegen hangisidir?

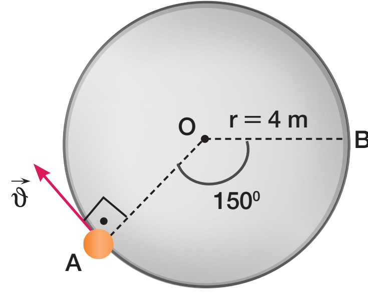
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerden doğru olanların karşısına “D”, yanlış olanların karşısına “Y” yazınız.

1.	Sabit süratle düzgün çembersel hareket yapan bir cismin hız değişimi sürekli sıfırdır.	
2.	Yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yapan bir cisme etki eden net kuvvet, merkezcil kuvvettir.	
3.	Merkezcil kuvvet vektörü, merkezden cisme doğru çizilerek gösterilir.	
4.	Çembersel hareket yapan bir cismin hareketi esnasında açısal momentum vektörü ile çizgisel momentum vektörü birbirine diktir.	
5.	Bir aracın yatay virajı güvenle dönebileceği maksimum hız değeri, aracın kütlesi ile ters orantılıdır.	
6.	Dönerek ilerleyen cisimlerin sadece dönme kinetik enerjisi vardır.	
7.	Eylemsizlik momenti, cismin dönme eksenine olan uzaklığına bağlı olarak değişir.	
8.	Sisteme dışarıdan net tork uygulandığında açısal momentumda değişim gözlemlenir.	
9.	Gezegenler, düzgün çembersel yörüngede dolanır.	
10.	Güneş ve Dünya’nın birbirine uyguladığı kütle çekim kuvvetinin büyüklüğü eşittir.	
11.	Silginin bir kütle çekim alanı vardır.	
12.	m kütleli bir cismin Güney Kutbu’ndaki ağırlığı ile Ekvator’daki ağırlığı aynıdır.	
13.	Gezegenleri, doğal ve yapay uyduları yörüngede tutan kuvvet merkezcil kuvvettir.	
14.	Tüm gezegenlerin periyotları, Güneş’e olan uzaklıkları ile ters orantılı olarak değişir.	
15.	Ali Kuşçu ve Uluğ Bey, birlikte çalışma imkânı bulmuştur.	

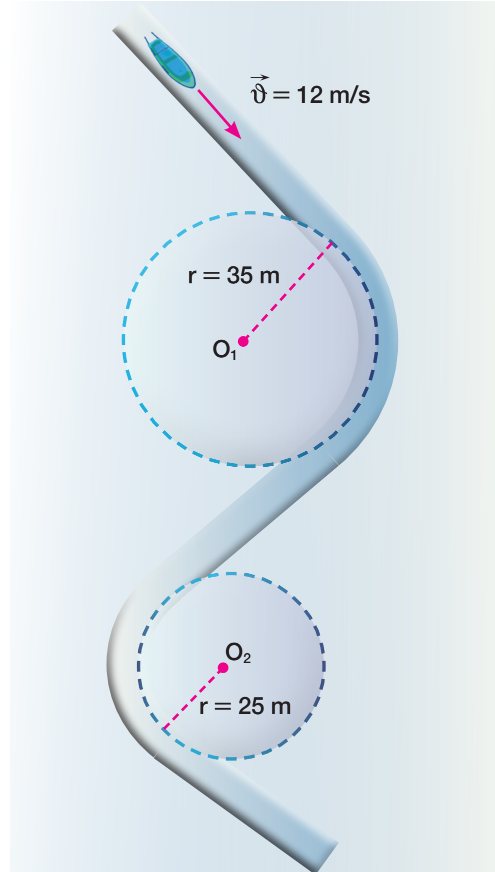
Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

16. 4 metre yarıçaplı bir çember üzerinde düzgün çembersel hareket yapan bir cisim, A noktasından B noktasına 7 saniyede gelmektedir.
Cismin çizgisel hız ve merkezcil ivme değerlerini bularak A ve B noktalarında çizgisel hız ve merkezcil ivme vektörlerini gösteriniz. ($\pi = 3$ alınız.)

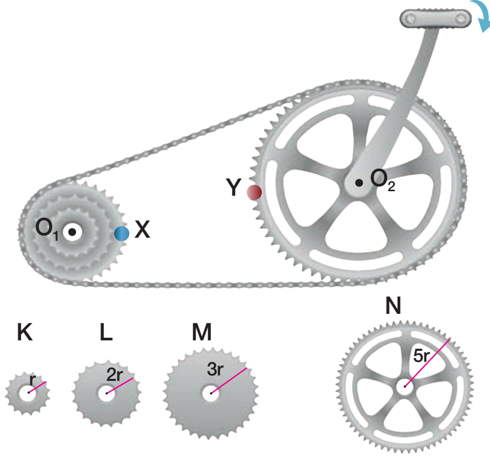


17. Kış olimpiyatları kızak yarışında k = 0,5 sürtünme katsayısına sahip bir pistte bir sporcu, 12 m/s hızla farklı yarıçapları olan yatay virajlardan geçmeye çalışmaktadır.

Sporcunun yarış sonundaki durumu için ne söylenebilir? ($g = 10$ m/s² alınız.)



18. Şekilde verilen bisiklet zincirine ait K, L, M ve N kasnakları O_1 ve O_2 merkezlerinden geçen eksenler etrafında serbestçe dönmektedir. Kasnakların yarıçapları sırasıyla r, 2r, 3r ve 5r olup K, L ve M kasnakları eş merkezlidir. X noktası M kasnağı, Y noktası N kasnağı üzerindedir. Pedal ok yönünde döndürülmektedir.



Buna göre

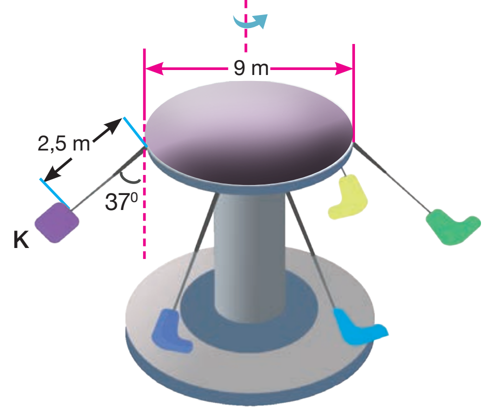
a) K, L, M ve N kasnaklarının açısal hızlarının büyüklüklerini karşılaştırınız.

b) K, L, M ve N kasnaklarının açısal hızlarının yönlerini gösteriniz.

c) X ve Y noktalarının çizgisel hız vektörlerini göstererek hız büyüklüklerinin ϑ_x/ϑ_y oranını hesaplayınız.

ç) X ve Y noktalarının merkezcil ivme büyüklükleri sırasıyla a_x ve a_y olduğuna göre a_x/a_y oranını bulunuz.

19. Bir lunaparkta 9 m çaplı döner dairesel platformun kenarına 2,5 m uzunluğunda, ağırlığı ihmal edilen zincirler ve zincirlerin ucuna 8 kg kütleli özdeş koltuklar bağlanmıştır. Platform sabit ω açısal hız büyüklüğü ile dönmeye başladığında zincirler, düşey doğrultu ile 37^0 açı yapmaktadır.



Buna göre

a) K salıncağının serbest cisim diyagramını çiziniz.

b) Platformun açısal hız büyüklüğünü hesaplayınız ve açısal hız vektörünün yönünü gösteriniz. ($Sin37^0 = 0,6$; $Cos37^0 = 0,8$ alınız.)

c) Koltuğun çizgisel hız büyüklüğünü hesaplayınız.

ç) Koltukta 24 kg'lık bir çocuk oturması durumunda zincirde meydana gelen gerilme kuvveti kaç N olur? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

d) Platform, çocuklar salıncaklardan indikten sonra çalıştırılırsa zincirlerin düşeyle yaptığı açı değişir mi? Neden?

e) Platformun ω açısal hızında artış yapılırsa zincirdeki gerilme kuvveti ve zincirin düşeyle yaptığı açı nasıl değişir?

20. Bir gösteri uçağı, düşey düzlemde çembersel yörüngede sabit açısal hızla dönmektedir.

Uçağın çizgisel hızının büyüklüğü ϑ, yörünge yarıçapı r olduğuna göre

a) Yörüngenin en alt noktasında koltuğun pilota uyguladığı kuvveti veren bağıntıyı çıkarınız.

b) Yörüngenin en üst noktasında koltuğun pilota uyguladığı kuvveti veren bağıntıyı çıkarınız.

c) Pilotun kendini ağırlıksız hissedebilme koşulu nedir? Pilot, bu koşulu yerine getirebilmek için uçağın hızını ve yörünge yarıçapını nasıl değiştirmelidir?

21. **Dış yarıçapları aynı olmak koşuluyla araç tekerleğinde kullanılacak jantın boyutu ile aracın ivmelenmesi arasındaki ilişkiyi nedenleri ile açıklayınız?**

22. Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız.



Simülasyonda sürtünme katsayısı, kütle, yarıçap vb. nicelikleri değiştirerek cismin hareketini inceleyiniz ve aşağıdaki soruları cevaplayınız.

a) Eylemsizlik momentinin değişiminin dönme hareketi üzerindeki etkisini nasıl açıklarsınız?

b) Cismin yarıçapında meydana gelen değişimin dönme hareketi üzerindeki etkisini nasıl açıklarsınız?

c) Cismin kütlesindeki değişimin dönme hareketi üzerindeki etkisini nasıl açıklarsınız?

ç) Cismin şeklindeki değişimin dönme hareketi üzerindeki etkisini nasıl açıklarsınız?

d) Cismin dönme kinetik enerjisi nelere bağlıdır?

23. Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız.



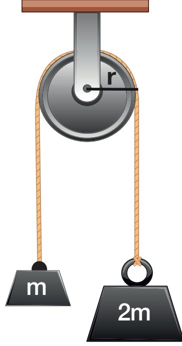
Eğik bir düzlem üzerindeki içi dolu küre, içi boş küre, içi dolu silindir ve içi boş silindirin eşit yükseklikten bırakıldığında zemine gelme sürelerini simülasyonda inceleyiniz.

İçi dolu kürenin içi boş küreden daha önce zemine ulaşmasını nasıl açıklarsınız?

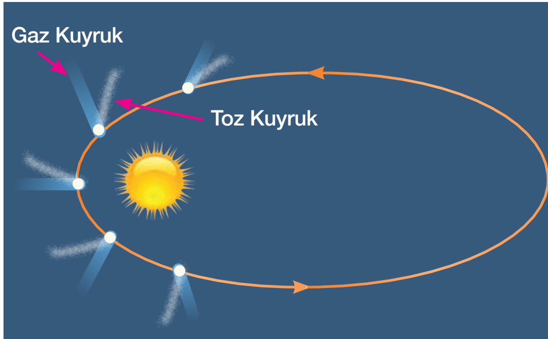
24. **Aşağıda verilen tablodaki boşlukları uygun niceliklerle doldurunuz.**

	Açısal Momentum	Çizgisel Momentum
Sembol		
Birim		
Matematiksel Model		
Vektörel/Skaler		
Günlük Hayattan Örnek		

25. Şekildeki r yarıçaplı sabit makara etrafına sarılı ipin ucuna bağlanan m ve 2m kütleli cisimler serbest bırakıldığında makaraya etki eden tork, makaranın açısal ivmesi, açısal hızı ve açısal momentumu nasıl değişir? Nedenleri ile açıklayınız? (İpin kalınlığını ve sürtünmeleri ihmal ediniz.)



26. 1758 yılında Edmond Halley (Edmınd Hali) tarafından keşfedilen gök taşına Halley Kuyruklu Yıldızı ismi verilmiştir. Toz ve buzdan oluşan Halley Kuyruklu Yıldızı, 76 yılda bir dünyadan gözlemlenebilmektedir. Görselde Halley Kuruklu Yıldızı'nın, Güneş'in etrafındaki yaklaşık yörüngesi gösterilmektedir.



Buna göre

a) Halley Kuruklu Yıldızı'nın hareketi sırasında açısal momentumu, çizgisel hızı, açısal hızı ve açısal ivmesindeki değişimi nedenleri ile açıklayınız.

b) Halley Kuyruklu Yıldızı'nın kuyruk kısmının Güneş'e yaklaştıkça uzamasını ve kuyruk yönünün her zaman Güneş'in aksi istikametinde olmasını nasıl açıklarsınız?

27. Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız.



Simülasyonda iki tane kütle, kütleler arası uzaklığı ölçen bir cetvel, kuvvetlerin yönü ve büyüklüğünü gösteren değişkenler yer almaktadır. Simülasyonda kütle ve uzaklık için sabit değerler belirleyiniz. Bir sonraki adımda aşağıda verilen gözleme dayalı soruları cevaplayınız.

a) Kütlelerden birinin değeri artırıldığında veya azaltıldığında kütle çekim kuvveti nasıl değişti?

b) Kütleler arası uzaklık artırıldığında veya azaltıldığında kütle çekim kuvveti nasıl değişti?

c) Yukarıda yapmış olduğunuz denemeler ışığında kuvvetlerin yönünü göz önüne alarak kütle çekim kuvvetini açıklayınız ve matematiksel bir model ile ifade ediniz.

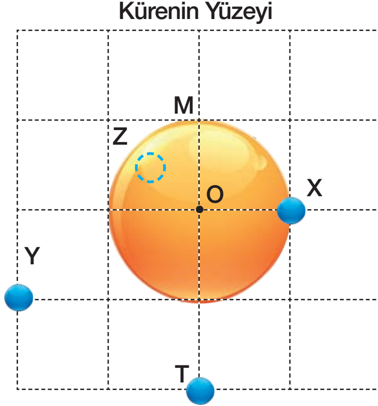
ç) Simülasyonda kütle değerlerinden birini minimum, ötekini maksimum yapınız. Kütlesi küçük olan cisim diğer cismi daha küçük bir kuvvetle mi çekti? Bu durumu, her kütlenin bir çekim alanı olduğu ilkesinden hareketle açıklayınız.

28. Aşağıda yer çekimi ile ilgili bazı bilgiler verilmiştir.

- Dünya yüzeyi üzerinde Ekvator'dan kutuplara gidildikçe yer çekimi ivmesinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın düzgün bir şekilde olmadığı bilinmektedir.
- Boyutları aynı fakat yoğunlukları farklı iki gezegenin yüzeyindeki yer çekimi ivmesinin farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu bilgilere dayanarak yer çekimi ivmesini, Dünya'nın yarıçapı ve kütlesi cinsinden ifade ediniz.

29. Kütle merkezi O noktası olan M kütleli homojen, küresel gezegenin kütle çekim alanı içindeki X, Y, Z ve T cisimlerine ait çekim alanını gösteren kuvvet çizgilerini çiziniz.



30. Yapay ve doğal uydular ile gezegenlerin yörüngelerini terk etmeden hareket etmelerini kütle çekim kuvveti ve Kepler Kanunları'nı kullanarak kısaca açıklayınız.

31. Kurtulma ve bağlanma enerjileri arasındaki farkları kısaca açıklayınız.

32. Galileo Galilei, Ali Kuşçu ve Uluğ Bey'in gök cisimleri ve gök cisimlerinin hareketleri ile ilgili gözlem, çalışma ve icatlarında önemli gördüğünüz noktalar nelerdir?

33. Ağrı Dağı, yaklaşık 5137 metrelik zirvesiyle ülkemizin en yüksek dağı konumundadır. Dağcılar, genellikle beş altı gün süren bir tırmanış ile Ağrı Dağı'nın zirvesine ulaşmaktadır.

Kütle kaybının önemsiz olduğu varsayılarak dağcılar zirveye ulaştığında deniz seviyesine göre

a) dağcının ağırlığı,

b) dağcıya Dünya tarafından uygulanan çekim kuvveti,

c) dağcının bulunduğu noktadaki yer çekimi ivmesi nasıl değişir?

Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

34. Sabit bir eksen etrafında düzgün çembersel hareket yapan bir cismin

I. çizgisel hız,
II. açısal hız,
III. merkezcil ivme

niceliklerinden hangilerinin büyüklükleri hareket süresince sabittir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

35. Sürtünmesiz yatay bir düzlemde düzgün çembersel hareket yapan bir cisim ile ilgili

I. Merkezcil kuvvet vektörü ile çizgisel hız vektörü birbirine diktir.
II. Çizgisel hız vektörü ile merkezcil ivme vektörü aynı yönlüdür.
III. Merkezcil kuvvet, çemberin merkezine göre tork oluşturur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

36. Sürtünmesiz yatay bir zemin üzerinde sabit bir eksen etrafında düzgün çembersel hareket yapan cismin frekansı, dönme yarıçapı ve π değeri bilindiğine göre

I. çizgisel hız,
II. merkezcil kuvvet,
III. merkezcil ivme

niceliklerinden hangileri bulunabilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

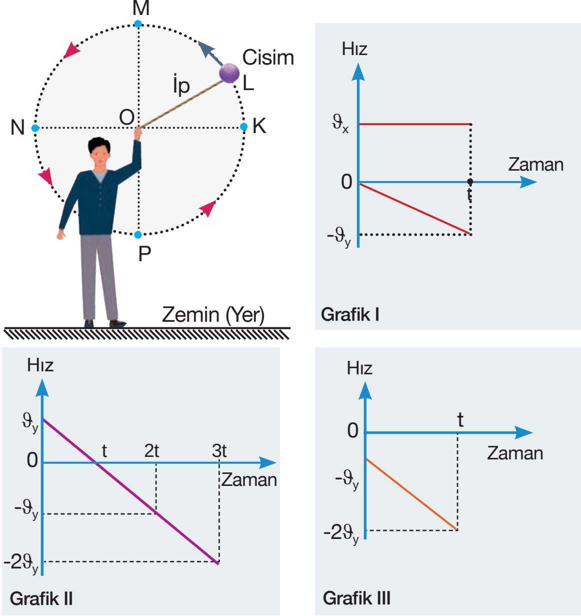
37. Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin

I. çizgisel hız,
II. açısal hız,
III. merkezcil ivme

niceliklerinden hangilerinin yönü hareket boyunca <u>değişmez</u>?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

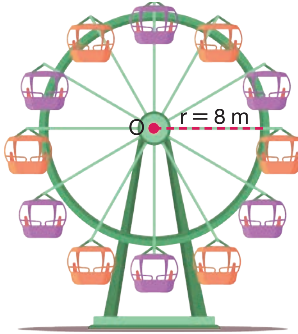
38. Ege, sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda bir ipin ucuna bağladığı m kütleli bir cismi düşey düzlemde sabit açısal süratle döndürürken ipin ucunu farklı noktalarda bırakarak cismin hareketini gözlemliyor ve bu hareketlere ait hız-zaman grafikleri çiziyor.



Ege'nin çizdiği grafikleri inceleyerek ipin sırasıyla hangi noktalarda serbest bırakıldığını belirleyiniz.

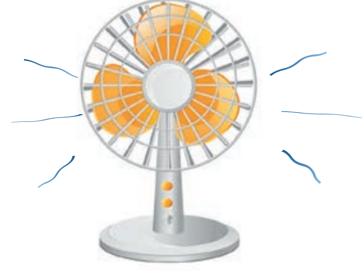
A) N-K-P **B)** P-K-N **C)** N-M-P **D)** K-M-N **E)** P-K-M

39. Ekin, ailesi ile gittiği bir lunaparkta 8 metre yarıçaplı bir çember etrafında dönen dönme dolaba biniyor. Dönme dolap harekete başladığında cep telefonunun kronometresini çalıştıran Ekin, 6 turu 3 dakikada katettiklerini görüyor.
Buna göre Ekin'in bindiği dönme dolabın açısal hızı kaç rad/s'dir? ($\pi = 3$ alınız.)



A) 1/5 **B)** 2/5 **C)** 2 **D)** 5/2 **E)** 4

40. Hakan, sıcak bir yaz günü serinlemek amacıyla vantilatörün ayar düğmesine basarak pervanelerin daha süratli dönmesini sağlıyor.



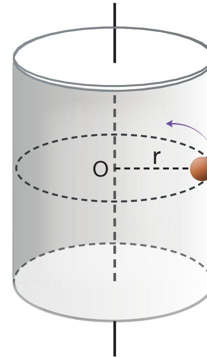
Bu işlem sonucunda vantilatör pervanelerinin

I. periyot,
II. frekans,
III. dönme kinetik enerjisi

değerlerinden hangileri ilk duruma göre artar?

A) Yalnız I **B)** Yalnız III **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

41. m kütleli bir cisim, silindir şeklinde bir boşluğun düşey duvarında, r yarıçaplı yörüngede düşmeden sabit süratle dönmektedir.



Buna göre

I. cismin açısal hızını artırmak,
II. düşey düzlem ile cisim arasındaki sürtünme katsayısını azaltmak,
III. cismin kütlesini artırmak,
IV. cismin periyodunu azaltmak

işlemlerinden hangileri tek başına yapılırsa cisim aşağıya doğru kayabilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve III **D)** II ve IV **E)** I, II, III, IV

42. I. Çalışır durumdaki çamaşır makinesinin tamburu
II. Hareket hâlindeki bisikletin tekerleği
III. Dağdan yuvarlanan taş

Yukarıda verilenlerden hangileri hem dönme hem de öteleme hareketi yapmaktadır?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

43. **Dönme hareketi yapan cismin eylemsizlik momenti ile ilgili**
I. Skaler bir niceliktir.
II. Cisme uygulanan torka bağlı olarak değişir.
III. Cismin şeklinden bağımsızdır.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

44. **Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay bir düzlemde dönerek öteleme hareketi yapan cismin kinetik enerjisi**
I. dönme frekansı,
II. yer çekimi ivmesi,
III. cismin kütlesi

niceliklerinden hangilerine bağlıdır?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

45. **Açısal momentum ile ilgili**
I. Atomik boyuttan galaksiler boyutuna kadar neredeyse tüm fiziksel sistemler için tanımlanabilir.
II. Vektörel bir niceliktir.
III. Fiziksel bir niceliktir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

46. **Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin çizgisel ve açısal momentumu ile ilgili**
I. Açısal momentum ile çizgisel momentum vektörleri birbirine diktir.
II. Çizgisel momentumun, yarıçap vektörü ile vektörel çarpılması sonucunda açısal momentum bulunur.
III. Açısal momentumun büyüklüğü, çizgisel momentumun büyüklüğü ile doğru orantılıdır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

47. **Dönme hareketi yapan bir cismin eylemsizlik momentini bulabilmek için**
I. kütle,
II. açısal momentum,
III. açısal hız

niceliklerinden hangilerinin bilinmesi gerekli ve yeterlidir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

48. I. $N \cdot m \cdot s$
II. $J \cdot s$
III. $kg \cdot \frac{m}{s^2}$

Yukarıda verilenlerden hangileri açısal momentumun birimi olarak kullanılabilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

49. **Dönen bir cisme etki eden net torku bulabilmek için**
I. açısal ivme,
II. kütle,
III. eylemsizlik momenti

niceliklerinden hangilerinin bilinmesi gerekli ve yeterlidir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

50. Sabit bir eksen etrafında dolanmakta olan bir cismin açısal momentumu ile ilgili

I. Cisme net bir tork etki ettiğinde açısal momentum korunmaz.

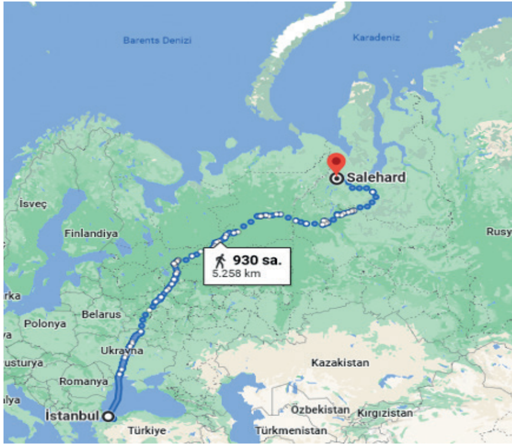
II. Açısal momentum vektörü dönme düzlemine daima diktir.

III. Cisme net bir kuvvet etki ettiğinde açısal momentum değişir.

ifadelerinden hangileri doğru olabilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

51. Rusya'ya bağlı Yamalo-Nenets Özerk Okrugu'nun merkez şehri olan Salehard, Kuzey Kutbu'na en yakın şehirdir.



İstanbul'dan yola çıkan Ali'nin Salehard şehrine geldiğinde

I. açısal momentumu,

II. açısal hızı,

III. eylemsizlik momenti

niceliklerinden hangileri değişir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

52. Dünya'nın kütlesi M, cismin kütlesi m, her ikisi arasındaki uzaklık d olsun. Kütle çekim kuvveti ile Newton'ın İkinci Hareket Kanunu ilişkilendirilerek Dünya'nın dışındaki bir noktada yer çekimi ivmesinin (g) matematiksel modeli bulunur.

Buna göre aşağıda verilen eşitliklerden hangisi ile yer çekimi ivmesi bulunabilir?

A) $m \cdot g = G \cdot \frac{M \cdot m}{d}$

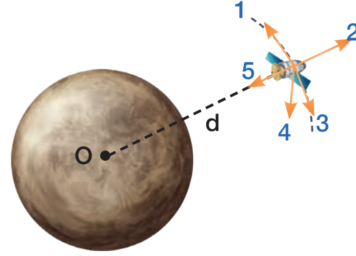
B) $m \cdot g = G \cdot \frac{M}{d^2}$

C) $M \cdot g = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$

D) $m \cdot g = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$

E) $m \cdot g = G \cdot \frac{m}{d^2}$

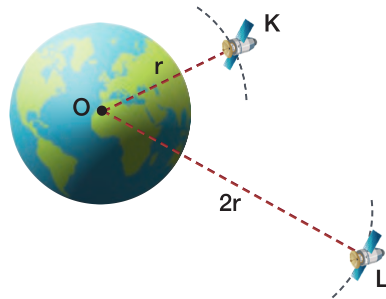
53. Merkezi O noktası olan bir gezegen ve çevresinde dolanmakta olan uydu şekilde verilmiştir.



Gezegenin merkezinden d uzaklıkta iken uydunun yer çekimi ivmesinin yönü aşağıdakilerden hangisidir?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

54. Eşit kütleli iki uydu, Dünya'nın merkezinden r ve 2r uzaklıkta dolanmaktadır.



Buna göre uydular K ve L konumlarındayken

I. kütle çekim kuvvetlerinin yönü,

II. ağırlık,

III. kütle çekim potansiyel enerjisi

niceliklerinden hangileri farklıdır?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

55. Yapay uyduların hareket edeceği yörünge, uydunun kullanım amacına göre değişiklik gösterir. Dünya'dan daha net görüntü alınmasını sağlamak için yapay uydular, Dünya'nın yüzeyine daha yakın bir yörüngeye yerleştirilir. İletişim uydumuz Türksat 4B ile gözlem uydumuz Göktürk 2, Dünya'nın farklı yörüngelerinde dolanmaktadır.

Buna göre paragrafta verilen uydularla ilgili

I. Türksat 4B uydusunun periyodu daha büyüktür.

II. Göktürk 2 uydusunu yörüngeden çıkarıp uzaklaştırmak için daha fazla enerji harcamak gerekir.

III. Türksat 4B uydusunun kütle çekim potansiyel enerjisi daha küçüktür.

ifadelerinden hangileri doğrudur? (Uyduların kütlelerini eşit kabul ediniz.)

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

56. Bir gök cismi, yörüngesinde bulunduğu gezegenin etrafında bir günde 20 kez dolanmaktadır. Bu gök cismi, bilinmeyen bir sebeple yörüngesinden çıkarak gezegene daha yakın bir yörüngede dolanmaya başlamıştır.

Buna göre

I. Gök cismi, gezegeni bir günde 25 kez dolanır.

II. Gök cismi, gezegeni bir günde 15 kez dolanır.

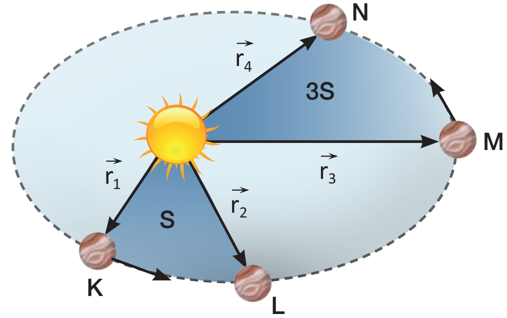
III. Gök cismine uygulanan kütle çekim kuvveti artar.

IV. Gök cisminin kütle çekim potansiyel enerjisi azalır.

ifadelerinden hangileri doğru olabilir?

A) I ve II B) I ve III C) II ve III D) I, III ve IV E) II, III ve IV

57. Güneş'in etrafında eliptik yörüngede dolanan bir gezegenin yarıçap vektörü KL arasında S, MN arasında 3S alan taramaktadır.



Buna göre

I. Gezegen, KL arasını MN arasından daha kısa sürede katetmiştir.

II. Gezegene her noktada uygulanan kütle çekim kuvveti eşit büyüklüktedir.

III. Gezegenin her noktada çizgisel hız büyüklüğü eşittir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

58. I. Yatay yolda virajı güvenli bir şekilde dönen aracın tekerlekleri ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti

II. Lunaparkta çembersel bir yörüngede dönmekte olan eğlence treninin raylardan gördüğü tepki kuvveti

III. Yatay düzlemde durmakta olan bir cisme uygulanan yer çekimi kuvveti

Yukarıda verilenlerden hangileri merkezcil kuvvet olarak değerlendirilebilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III



Karekodda verilen bulmacaları çözünüz.

2. ÜNİTE

BASİT HARMONİK HAREKET

ÜNİTE BÖLÜMLERİ



2. ünitenin sunumu için karekodu okutunuz.



2. üniteye ulaşmak için karekodu okutunuz.

1. BÖLÜM

2.1. BASİT HARMONİK HAREKET



Anahtar Kavramlar

- Uzanım
- Genlik
- Geri Çağırıcı Kuvvet
- Denge Noktası
- Yay Sarkacı
- Basit Sarkaç



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu ünitede basit harmonik hareket ile düzgün çembersel hareketin ilişkisi analiz edilecektir. Ayrıca düzgün çembersel hareketten yola çıkılarak basit harmonik harekette denge noktası, genlik, uzanım, periyot, frekans ve geri çağırıcı kuvvet kavramları açıklanacaktır. Basit harmonik hareketin konum-zaman, hız-zaman ve ivme-zaman değişimleri ele alınacaktır. Yay sarkacı ve basit sarkacın periyotlarının bağlı olduğu değişkenler belirlenecek, yay sarkacı ve basit sarkacın periyotları ile ilgili matematiksel işlemler yapılacaktır.



FOUCAULT SARKACI - DÜNYA'NIN KENDİ EKSENİNDE DÖNDÜĞÜNÜN İLK BİLİMSEL KANITI

Bilim insanları, yüzyıllar öncesinde iki konu etrafında hararetli tartışmalar yürütmüştür: Dünya mı Güneş'in, Güneş mi Dünya'nın etrafında dolanıyor? Dünya kendi ekseni etrafında dönüyor mu, dönmüyor mu? Bu konulardaki tartışmalar öyle bir seviyeye ulaşmıştır ki İtalyan bilim insanı Galileo Galilei, Dünya'nın döndüğünü iddia ettiği için 1633 yılında dönemin engizisyon mahkemesi tarafından yargılanmıştır.



Galileo'dan yaklaşık 200 yıl sonra Fransız fizikçi Léon Foucault (Leon Fuko), sarkaçların salınım düzeninden yararlanarak Dünya'nın kendi ekseni etrafında döndüğünü ispatlamak için bir deney hazırlamıştır.

Paris'teki Pantheon (Panteun) binasında büyük bir sarkaç düzeneği kurmuş, 67 metrelik bir telin ucuna 28 kg kütleli bir top bağlayarak teli kubbenin tam ortasına asmıştır. Topun alt kısmına sivri bir uç takmış ve bu ucun temas edip iz bırakabileceği bir kum havuzu yerleştirmiştir. Düzenek hazırlandıktan sonra 31 Mart 1851 tarihinde deney gerçekleştirilmiştir. Léon Foucault, sarkacı denge konumundan bir miktar ayırmış ve serbest bırakılan demir topun altındaki sivri ucun kumda bıraktığı izleri incelemiştir. Bir süre sarkacın hareketinde bir düzen gözlemlenmemiş fakat daha sonra hareketler belirli bir düzene kavuşmuştur. Deneyin başlangıcından bir süre sonra hareketlerin düzene kavuşması, sarkacın doğrultu değiştirmesi ile olmuştur. Sarkacın doğrultu değiştirmesine sebep olan etki Dünya'nın dönüşünden kaynaklanmaktadır. Böylelikle Dünya'nın kendi ekseni etrafında döndüğü, gökyüzü gözlemlerinden bağımsız olarak ilk defa kanıtlanmıştır.



HAZIRLIK SORULARI

1. Foucault sarkacı olarak bilinen düzenekle ulaşılan bilimsel bilgi nedir?
2. Sarkaç deneyinden önce Dünya'nın kendi ekseni etrafında döndüğünü savunan bilim insanları, bu görüşe nasıl ulaşmışlardır? Buna yönelik bugünkü kanıtlar nelerdir?
3. Sarkacın bir tam dolanımı için geçen süre, bulunulan enlem ya da boylama bağlı mıdır?

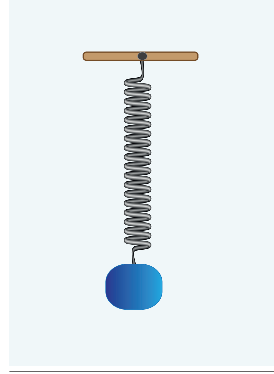
2.1.1. Basit Harmonik Hareket Nedir?

Gitar teline (Görsel 2.1) bir kuvvet uygulandığında tel, bir denge konumu etrafında salınım yaparak ses üretir. Gitar telinin yaptığı salınımlara **titreşim** denir. Eğer salınımlar belli zaman aralıklarında tekrarlanıyorsa bu harekete **periyodik hareket** denir. Günlük hayatta sallanan sandalye, zıplayan top, titreşen diyapazon, sallanan salıncak ve Dünya'nın Güneş etrafında dolanması periyodik harekete örnek gösterilebilir. Basit harmonik hareket günlük hayatta sıklıkla görülen periyodik bir harekettir. Geri çağırıcı kuvvetin yer değiştirme ile doğru orantılı olduğu periyodik harekete **basit harmonik hareket** denir. Buradaki basit kelimesi, hareket süresinin genlik kavramından bağımsız olduğunu vurgulamak için kullanılır.

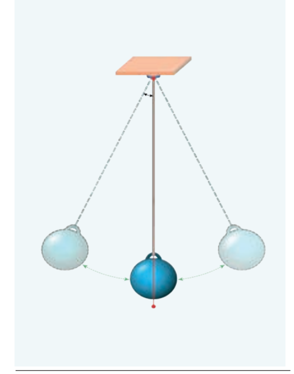


Görsel 2.1: Gitar teli

Şekil 2.1'de yayın ucuna asılmış kütlenin (yay sarkacı), Şekil 2.2'de bir ucu sabitlenmiş ipin ucuna asılan ve denge konumundan çekilip bırakılan cismin (basit sarkaç) yaptığı basit harmonik hareket gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Yay sarkacı



Şekil 2.2: Basit sarkaç

Dış etkiler (sürtünme) nedeniyle periyodik hareket yapan cisimlerin enerji, genlik gibi özelliklerinde zamanla azalma görülebilir. Basit harmonik harekette dış etkiler (sürtünme) ihmal edildiğinde sönümsüz basit harmonik hareket elde edilir.

Salınım hareketinin sönümsüz basit harmonik hareket olabilmesi için şu şartları taşıması gerekir:

- Cismin denge konumundan ayrılma miktarı, cisme etki eden kuvvet ile doğru orantılı olmalıdır.
- Cismin ivmesi, yer değiştirmesi ile doğru orantılı olmalıdır.
- Cismin ivmesinin yönü, denge konumuna doğru olmalıdır.
- Toplam enerjinin korunması gerektiğinden sürtünmeler ihmal edilmelidir.

Burada verilen ölçütlere göre gitar telinin titreşmesi, bir ipin ucuna bağlanan bir cismin yaptığı salınım hareketi, araba amortisörlerinin (Görsel 2.2) tümseklerde yaptığı hareket, bir ucu sabitlenmiş yayın ucuna asılı kütlenin çekilip bırakılması sonucu oluşan salınım hareketi basit harmonik harekettir.



Görsel 2.2: Araba amortisörleri

MERAKLISINA BİLİM



Maddesel ortamda titreşen maddeler ses üretir. Ses kaynağından çıkan ses dalgaları, kulak zarına ulaşarak zarın titreşmesini sağlar. Beyin, kulak tarafından iletilen bu titreşimleri anlamlı hâle getirir. Kulak zarının hareketi, basit harmonik harekete örnektir. Duyma güçlüğü çeken insanlar için hazırlanan duyma cihazları da basit harmonik hareket prensipleri kullanılarak üretilir.

SORU 1

Öznur öğretmen, derste hareket konusunu işlerken günlük hayattan aşağıdaki örnekleri veriyor.

I. Salıncakta küçük açılarda salınım yapan bir çocuk

II. Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketi

III. Tümsekten geçen bir arabanın amortisör yaylarının hareketi

Yukarıda verilenlerden hangileri basit harmonik harekete örnek gösterilebilir? (Sürtünmeler ihmal edilmiştir.)

ÇÖZÜM

Salıncakta sallanan çocuk, sürtünmeler ihmal edildiğinde ve dış bir kuvvet uygulanmadığında sabit bir nokta etrafında eşit mesafelerde titreşim hareketi yapar. Bu durum, basit harmonik harekete örnektir.

Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketi, sabit nokta etrafında eşit mesafelerde bir hareket olmadığından basit harmonik harekete örnek gösterilemez.

Tümsekten geçen bir arabanın amortisör yaylarının hareketi, sürtünmeler ihmal edildiğinde sabit nokta etrafında eşit mesafelerde titreşim hareketidir. Bu durum, basit harmonik harekete örnektir.

UYGULAMA » 1

Dünya'nın merkezinden geçen ve iki kutbu birbirine bağlayan bir tünel olduğunu varsayınız.
Sizce Kuzey Kutbu'ndan tünele bırakılan m kütleli bir cisim, Güney Kutbu'na ulaşabilir mi? Nedenleri ile açıklayınız.



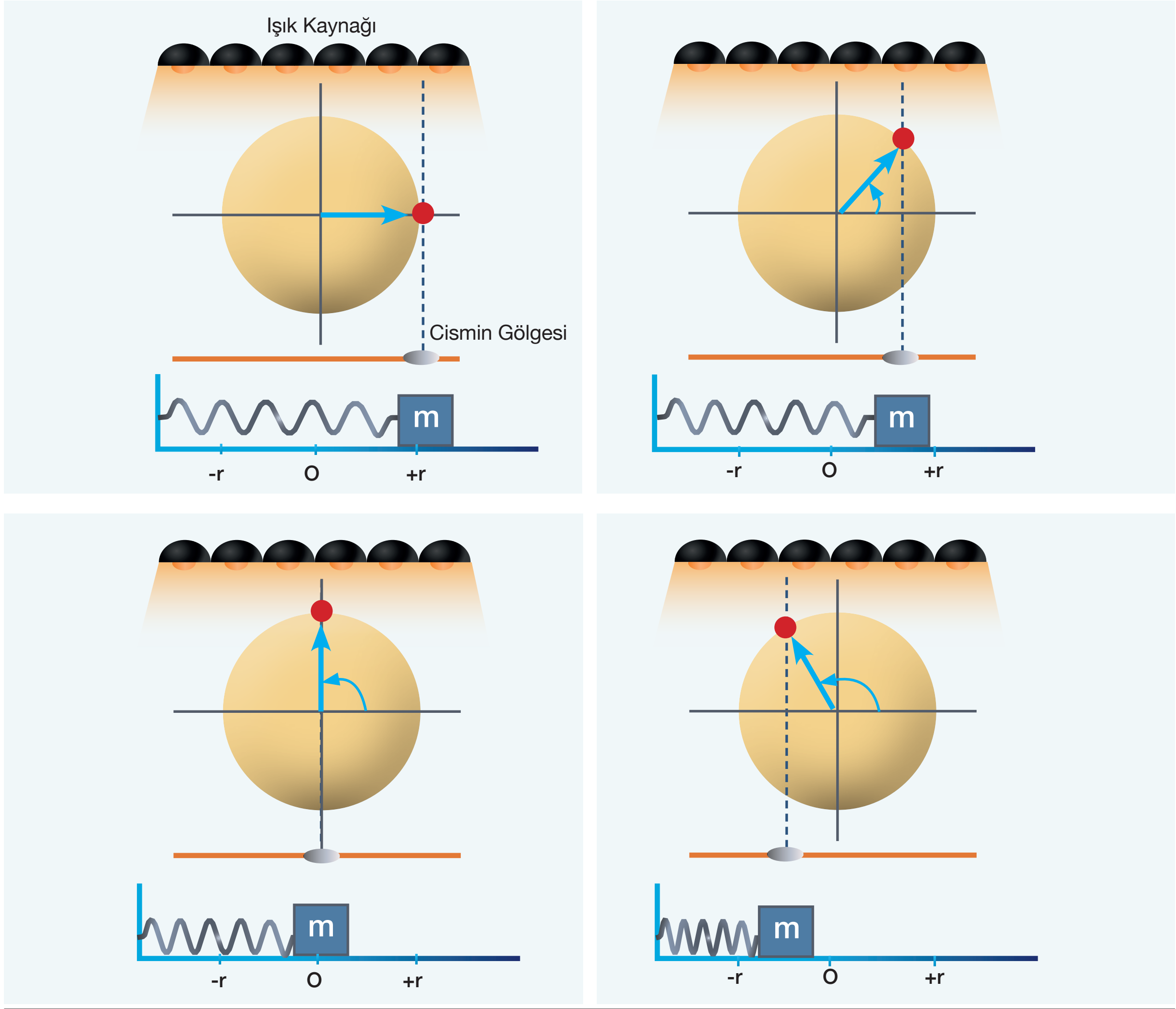
ARAŞTIRMA

Günümüzde taşıtların çoğunda kullanılan süspansiyon sisteminin gelişim süreci ile avantaj ve dezavantajlarını araştırınız. Elde ettiğiniz verileri bir sunum hazırlayarak sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

Basit Harmonik Hareket ile Düzgün Çembersel Hareket Arasındaki İlişki

Düzgün çembersel hareketten yararlanılarak basit harmonik hareket gözlemlenebilir. Şekil 2.3'te üst kısmında ışıklar bulunan bir düzenekte opak bir cisim, düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapmaktadır. Opak cismin yatay düzlemde oluşan gölgesinin yaptığı hareket, basit harmonik harekettir. Bu hareket, yaya bağlı bir kütlenin çekilip bırakılması sonucu oluşan harekete benzer.

Düzgün çembersel hareketin iz düşümünün basit harmonik hareket olması, basit harmonik hareket ile ilgili kavramların ve matematiksel modellerin açıklanmasında kolaylık sağlamaktadır.



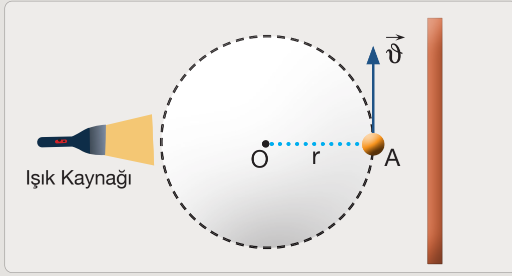
Şekil 2.3: *Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, yatay zemindeki gölgesinin hareketi ile basit harmonik hareketin ilişkisi*

MERAKLISINA BİLİM

Bir mum ve döner bir platform ile karanlık bir odada basit bir düzenek kurabilir, tavanda ve duvarlarda mum ışığını takip ederek basit harmonik hareket ile düzgün çembersel hareket arasındaki ilişkiyi gözlemleyebilirsiniz.

UYGULAMA » 2

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, düşey zemindeki gölgesinin hareketi ile ilgili olarak aşağıda verilenlerden hangisi doğrudur?



- ☐ Düzgün ve doğrusaldır.
- ☐ Hız büyüklüğü sabittir.
- ☐ Sabit hızlıdır.
- ☐ Düzgün çembersel harekettir.
- ☐ Basit harmonik harekettir.

Basit Harmonik Hareket ile İlgili Kavramlar

Denge Noktası: Yay, doğal uzunluğundayken m kütleli cisim üzerine bir kuvvet uygulamaz. Cismin bulunduğu bu konuma **denge konumu** veya **denge noktası** denir. Şekil 2.4'te gösterilen O noktası denge noktasıdır.

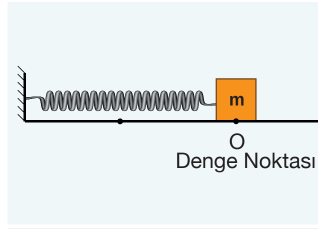
Genlik ($\vec{r}$): Basit harmonik hareket yapan cisim, denge noktası etrafında eşit mesafelerde gidip gelme hareketi yapar. Hareket süresince cismin denge konumuna en uzak olduğu mesafeye **genlik** denir. Genliğin sembolü r, SI'da birimi metredir (m). Şekil 2.5'te cismin denge konumu etrafındaki genlik uzunlukları gösterilmiştir.

Uzanım ($\vec{x}$): Basit harmonik hareket yapan bir cismin, hareketin herhangi bir anında denge noktasına olan uzaklığına **uzanım** denir. Uzanımın sembolü x, SI'da birimi metredir (m). Şekil 2.6: a ve b'de basit sarkacın ve yay sarkacının herhangi bir andaki uzanımı gösterilmiştir.

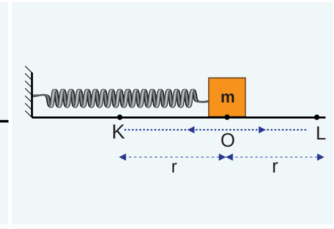
Periyot (T): Basit harmonik harekette tam bir salınımın tamamlanması için cismin, bir noktadan aynı yönde peş peşe iki geçiş yapması gerekir. Tam bir salınımın gerçekleşmesi için gereken süreye **periyot** denir. Periyodun sembolü T, SI'da birimi saniyedir (s).

Basit harmonik hareket yapan cisim, ivmeli hareket yaptığından K-P ve P-O arasındaki eşit yolları eşit sürelerde almaz. Şekil 2.7: a ve b'de yay sarkacındaki ve basit sarkaçtaki cisimlerin eşit aralıkları alma süreleri gösterilmiştir.

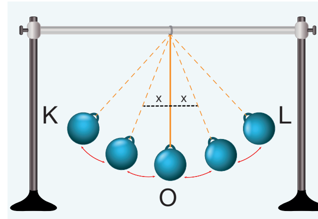
Frekans (f): Basit harmonik hareket yapan bir cismin birim zamandaki salınım sayısına **frekans** denir. Frekansın sembolü f, SI'da birimi saniye^{-1} (s^{-1}) veya hertzdir (Hz).



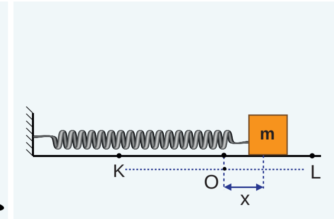
Şekil 2.4: Basit harmonik hareketin denge noktası



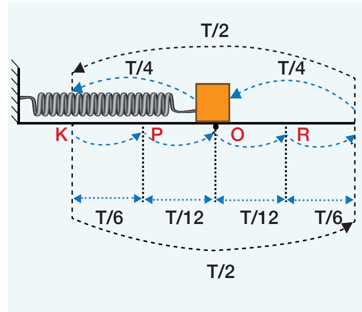
Şekil 2.5: Cismin denge konumu etrafındaki genlik uzunlukları



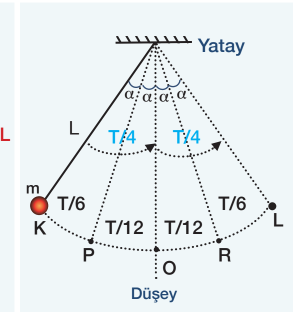
Şekil 2.6: a) Basit sarkacın herhangi bir andaki uzanımı



Şekil 2.6: b) Yay sarkacının herhangi bir andaki uzanımı



Şekil 2.7: a) Yay sarkacındaki cismin eşit aralıkları alma süreleri



Şekil 2.7: b) Basit sarkaçtaki cismin eşit aralıkları alma süreleri

Geri Çağırıcı Kuvvet ($\vec{F}$): Basit harmonik hareket yapan bir cismi, denge noktasına çağıran kuvvete **geri çağırıcı kuvvet** denir. Geri çağırıcı kuvvet, denge noktasında sıfırdır. Uzanımın artmasıyla birlikte genlik noktalarında maksimum değere ulaşır.

SORU 2

Basit harmonik hareket yapan cisimle ilgili

I. Cismin uzanımı arttıkça geri çağırıcı kuvvet azalır.

II. Düzgün doğrusal hareket yapmaktadır.

III. Cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin yönü ve büyüklüğü değişkendir.

yargılarından hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

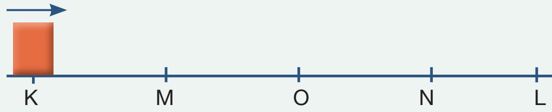
Basit harmonik hareket yapan cismin uzanımı arttıkça cisme etki eden geri çağırıcı kuvvet de artmaktadır. Bu nedenle I. cümledeki ifade yanlıştır.

Basit harmonik hareket yapan cisim, ivmeli bir hareket yapmaktadır. II. cümledeki ifade yanlıştır.

Basit harmonik hareket yapan cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin yönü ve büyüklüğü değişkendir.
III. cümledeki ifade doğrudur.

SORU 3

K ve L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin periyodu 3 saniyedir.



Şekildeki gibi K noktasından ok yönünde harekete başladığına göre 13 saniye sonra

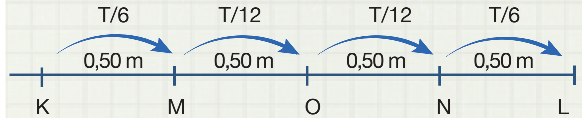
a) Cisim nerede bulunur?

b) Cismin uzanımı kaç metre olur?

(Noktalar arası uzaklık eşit ve 0,5 metredir. Sürtünmeler ihmal edilmiştir.)

ÇÖZÜM

a) Cisim, her tam turda başladığı noktaya döner.
Bu nedenle 12 saniyede 4 tam tur atıp K noktasına geri gelir.

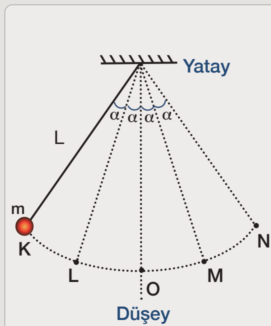


Kalan 1 saniyelik sürede N noktasına ulaşır. Bu nedenle cisim, 13. saniyede N noktasında bulunur.

b) Uzanım, denge noktasına uzaklık olduğundan N noktasındaki cismin uzanımının büyüklüğü 0,5 metredir.

UYGULAMA » 3

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda K ve N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan ipe bağlı m kütleli cismin, K noktasından serbest bırakıldıktan sonra M noktasından ikinci kez geçmesi için gereken süre 12 saniyedir.



Buna göre cismin

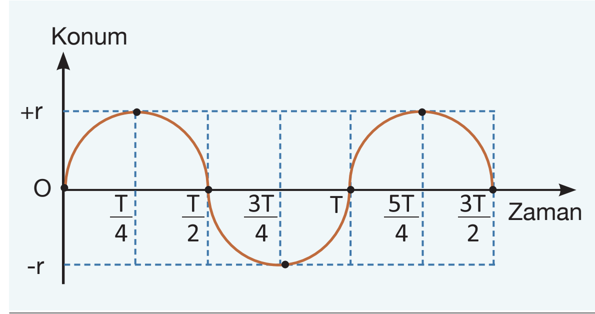
a) Periyodu kaç saniyedir?

b) Frekansı kaç s^{-1}dir?

c) L noktasından üçüncü geçişi başlangıçtan kaç saniye sonra gerçekleşir?

2.1.2. Basit Harmonik Harekette Konumun Zamana Göre Değişimi

Düzgün çembersel hareket ile basit harmonik hareketin ilişkisi incelendiğinde basit harmonik hareket yapan cisimlerin, geri çağırıcı kuvvetin etkisi altında olduğu görülür. Newton'ın İkinci Hareket Kanunu'na göre cisim, net bir kuvvetin etkisi altındayken ivmeli hareket yapmaktadır. İvmeli hareket yapan cisimlerin konum-zaman grafikleri eğriseldir. Basit harmonik harekette konumun zamanla değişimi basit bir sinüs eğrisidir. Şekil 2.8'de basit harmonik hareket yapan cismin konum-zaman grafiği gösterilmektedir. Aşağıda verilen simülasyonda düzgün çembersel hareket ile basit harmonik hareketin ilişkisinden yola çıkılarak basit harmonik harekette konum-zaman grafiği incelenecektir.



Şekil 2.8: Basit sarkaçtaki cismin zamana bağlı konum grafiği



SİMÜLASYON 1 Süre 20 dk.

Simülasyonun Adı	Basit Harmonik Harekette Konum-Zaman Grafiği
Simülasyonun Amacı	Basit harmonik harekette konum-zaman grafiğini analiz edebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

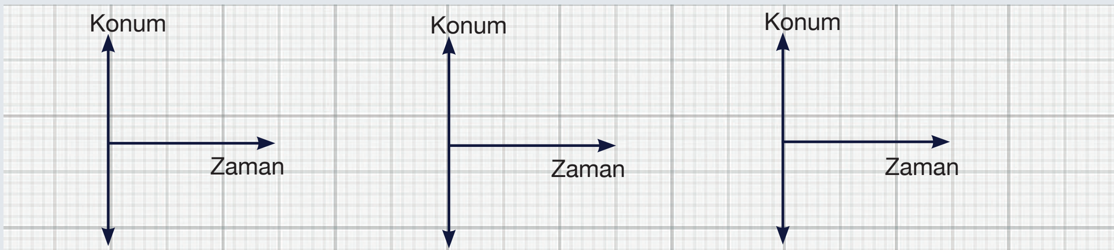
Yönerge: Uygulama aşamalarında belirtilen basamakları takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız.
2. Simülasyonda açısal hız ve yarıçap değerlerini değiştiriniz.
3. Açısal hız ve yarıçap değerlerinin değiştirilmesi sonucunda oluşan konum-zaman grafiklerini analiz ediniz.
4. Tabloda verilen değerleri kullanarak cismin periyot ve frekans değerlerini hesaplayınız. ($\pi = 3$ alınız.)
5. Tablodaki değerlere göre basit harmonik hareket yapan cismin konum-zaman grafiklerini çiziniz.

Yarıçap (m)	Açısal Hız (rad/s)	Periyot (s)	Frekans (s^{-1})
0,3	6		
2,2	4		
3,4	2		



Simülasyonun Değerlendirmesi

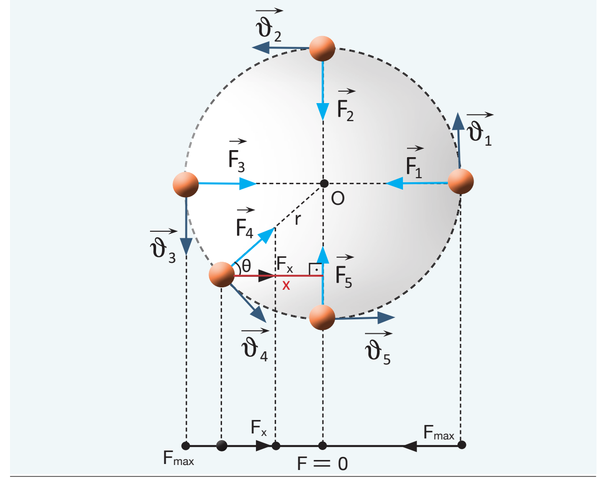
1. Düzgün çembersel harekette verilen yarıçap kavramının basit harmonik hareketteki karşılığı nedir?
2. Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin açısal hızının yardımıyla basit harmonik hareketin hangi nicelikleri bulunabilir?

2.1.3. Basit Harmonik Harekette Kuvvet, Hız ve İvmenin Konuma Göre Değişimi

Düzgün çembersel hareketin yatay ve düşey düzlemde iz düşümünü kullanmak, basit harmonik harekette kuvvet, hız ve ivme kavramlarının konuma göre değişimini incelemeyi kolaylaştırır.

Geri Çağırıcı Kuvvetin Konuma Göre Değişimi

Düzgün çembersel hareket yapan cisme etki eden merkezcil kuvvetin büyüklüğü sabit, yönü ise her durumda merkeze doğrudur. Düzgün çembersel hareket yapan cismin iz düşümü basit harmonik hareket yaptığından düzgün çembersel hareket yapan cisme etki eden merkezcil kuvvetin yatay bileşeni, yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan bir cisim için geri çağırıcı kuvvettir. Basit harmonik hareket yapan cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetteki geri çağırıcı ifadesi, kuvvetin her zaman denge konumuna doğru olduğuna işaret eder. Şekil 2.9'da düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cisme etki eden kuvvetler ile kuvvetin yatay düzlemdeki iz düşümü gösterilmektedir.



Şekil 2.9: Düzgün çembersel hareket yapan cisme etki eden merkezcil kuvvetin iz düşümü

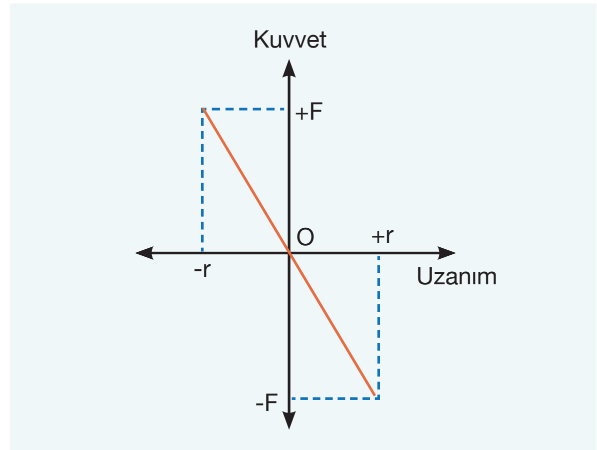
Düzgün çembersel hareketteki merkezcil kuvvetin büyüklüğü $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ bağıntısı ile bulunur. Merkezcil kuvvetin yatay bileşeni

$F_x = F \cdot \cos\theta = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos\theta$ şeklinde ifade edilir.

$\cos\theta = \frac{x}{r}$ ifadesi kullanılarak $r \cdot \cos\theta = x$ eşitliği elde edilir. Bu eşitlik kuvvet bağıntısında yerine konursa geri çağırıcı kuvvetin konuma bağlı değişimini veren

$$F_x = -m \cdot \omega^2 \cdot x$$

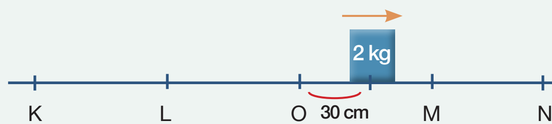
matematiksel modeline ulaşılır. Bu matematiksel model kullanılarak Şekil 2.10'da geri çağırıcı kuvvetin konuma bağlı değişim grafiği gösterilmiştir. Matematiksel modeldeki - işareti geri çağırıcı kuvvet ile uzanım vektörünün zıt yönlü olmasından kaynaklanmaktadır. Grafik incelendiğinde uzanımın büyüklüğü ile kuvvetin büyüklüğünün doğru orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 2.10: Geri çağırıcı kuvvetin konuma bağlı değişim grafiği

SORU 4

2 kg kütleli bir cisim, K ve N noktaları arasında 6 s periyotla basit harmonik hareket yapmaktadır.



Denge noktasının 30 cm uzağından ok yönünde hareket eden cisme etkiyen geri çağırıcı kuvvetin yönünü belirtiniz ve büyüklüğünü hesaplayınız.

($\pi = 3$ alınız. |KL| = |LO| = |OM| = |MN| = 50 cm)

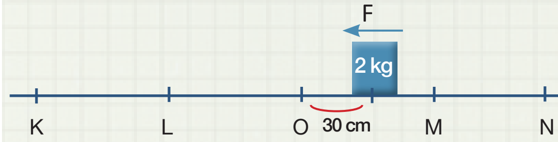
ÇÖZÜM

Geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü

$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \cdot 3}{6} = 1$ rad/s

$F = m \cdot \omega^2 \cdot x = 2 \cdot 1^2 \cdot 0,3 = 0,6$ N bulunur.

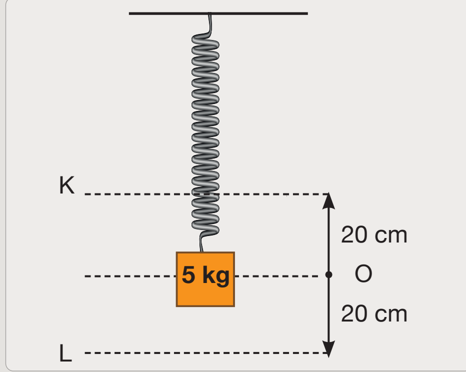
Cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin yönü, denge noktası olan O noktasına doğrudur.

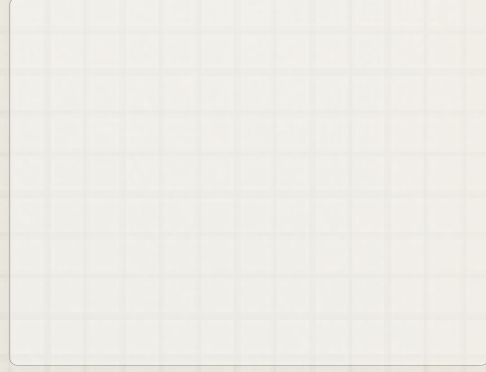


UYGULAMA » 4

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda yay sarkacına bağlı 5 kg kütleli bir cisme K ve L noktaları arasında 2 saniye periyotlu basit harmonik hareket yaptırılmaktadır.

Buna göre cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin zamanla ilişkisini gösteren grafiği çiziniz. ($\pi = 3$ alınız.)





Hızın Konuma Göre Değişimi

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin hızının yatay bileşeni, yatayda basit harmonik hareket yapan bu cismin gölgesinin hızına eşittir. Şekil 2.11'de düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, yataydaki iz düşümünün hızı gösterilmiştir.
Düzgün çembersel harekette çizgisel hız ile açısal hız arasındaki ilişki $\vartheta = \omega \cdot r$ bağıntısı ile verilir.

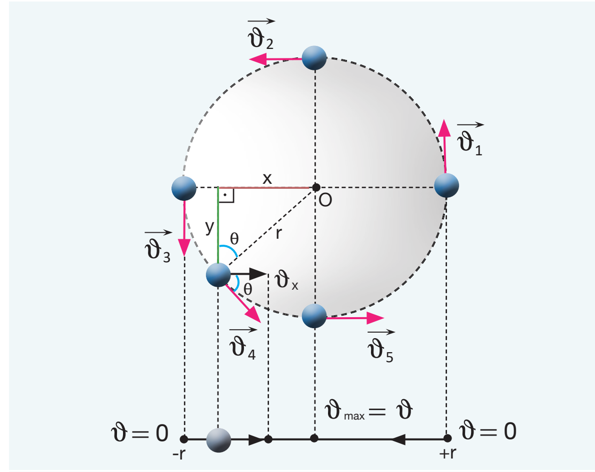
Hız bileşenlere ayrıldığında yatay hız $\vartheta_x = \vartheta \cdot \cos\theta$ şeklinde ifade edilir.

İki denklem birleştirilirse $\vartheta_x = \omega \cdot r \cdot \cos\theta$ bağıntısına ulaşılır.

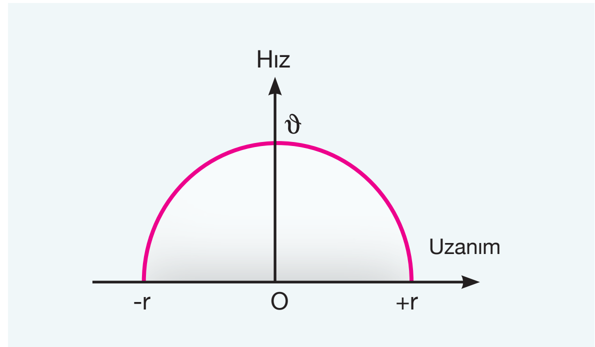
Şekil 2.12'de verilen çemberin üzerindeki dik üçgen kullanılarak $r \cdot \cos\theta = y$ ifadesi hız bağıntısında yerine yazılırsa $\vartheta_x = \omega \cdot y$ eşitliği elde edilir.
Çemberdeki dik üçgenden yararlanılarak $r^2 = x^2 + y^2$ ifadesinde y değeri yalnız bırakılırsa $y = \sqrt{r^2 - x^2}$ eşitliği elde edilir. Bu eşitlik hız bağıntısı ile birleştirildiğinde

$$\vartheta_x = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2}$$

bağıntısına ulaşılır. Bu bağıntı kullanılarak hızın konuma bağlı değişim grafiği Şekil 2.12'de verilen biçimde çizilir.

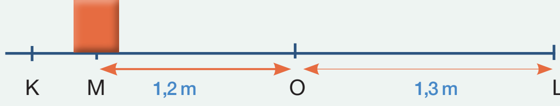


Şekil 2.11: Düzgün çembersel hareket yapan cismin yatay düzlemdeki iz düşümünün hızı



Şekil 2.12: Basit harmonik harekette hızın konuma bağlı değişim grafiği

SORU 5



Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda K ve L noktaları arasında 1,5 s periyotla basit harmonik hareket yapan 5 kg kütleli cismin, M noktasından geçtiği andaki hız büyüklüğü kaç m/s'dir? ($\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

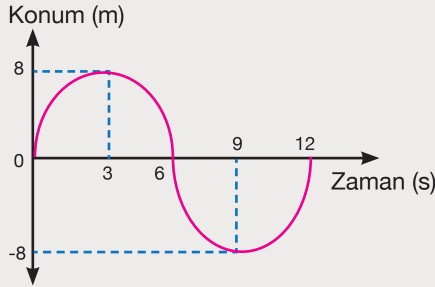
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \cdot 3}{1,5} = 4 \text{ rad/s}$$

$$\vartheta = \omega\sqrt{r^2 - x^2} = 4\sqrt{1,3^2 - 1,2^2} = 2 \text{ m/s}$$

UYGULAMA » 5

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan 4 kg kütleli cismin konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.

Cismin geri çağırıcı kuvvet-uzanım ve hız-uzanım grafiklerini çiziniz. ($\pi = 3$ alınız.)



İvmenin Konuma Göre Değişimi

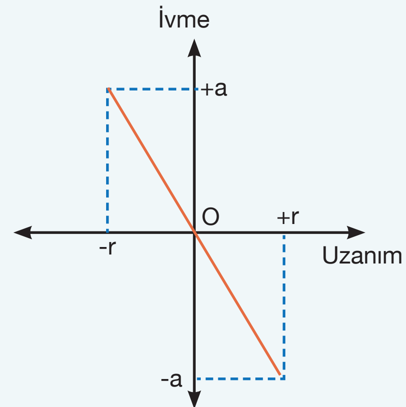
$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ şeklinde ifade edilen Newton'ın İkinci Hareket Kanunu'na göre cisme etki eden net kuvvet ile cismin ivmesi aynı yönlü ve doğru orantılıdır.

Newton'ın İkinci Hareket Kanunu'nda ivme ifadesi yalnız bırakıldığında basit harmonik hareket yapan cismin ivmesinin konuma bağlı değişimini veren

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = -\frac{m \cdot \omega^2 \cdot \vec{x}}{m} = -\omega^2 \cdot \vec{x}$$

bağıntısı elde edilir. Şekil 2.13'te basit harmonik hareket yapan cismin ivme-uzanım grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde ivme ile uzanımın zıt yönlü, ivmenin büyüklüğü ile uzanımın büyüklüğünün doğru orantılı olduğu görülür.

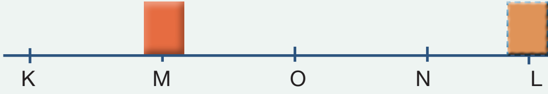
Basit harmonik hareket yapan cisme etki eden geri çağırıcı kuvvet ile cismin ivmesi, aynı yönlüdür ve yönleri daima denge noktasına doğrudur.



***Şekil 2.13:** Basit harmonik hareket yapan cismin ivme-uzanım grafiği*

SORU 6

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde K ve L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan cismin L noktasındaki ivmesinin büyüklüğü a_1, M noktasındaki ivmesinin büyüklüğü a_2'dir.



Buna göre $\frac{a_1}{a_2}$ oranı kaçtır? (Noktalar arası uzaklıklar eşittir.)

ÇÖZÜM

Basit harmonik hareket yapan cismin ivmesi şu şekilde hesaplanır:

$a = \omega^2 \cdot x$

Buna göre

$a_1 = \omega^2 \cdot 2x$

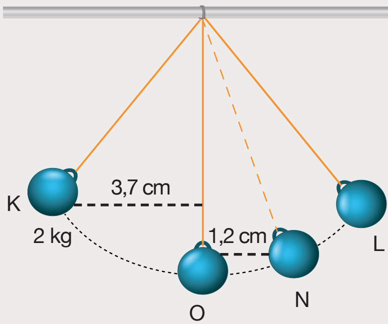
$a_2 = \omega^2 \cdot x$

denklemleri taraf tarafa oranlandığında

$\frac{a_1}{a_2} = 2$ bulunur.

UYGULAMA » 6

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda 2 kg kütleli bir cisim, basit sarkaçta K ve L noktaları arasında 2 saniye periyotla basit harmonik hareket yapmaktadır. ($\pi = 3$ alınız.)



Buna göre N noktasından geçerken

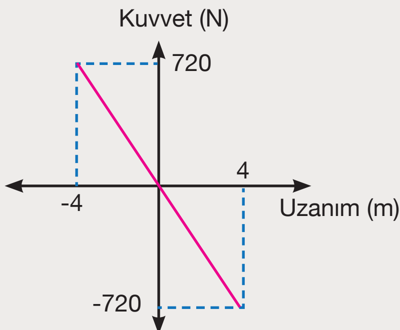
a) Cismin hız büyüklüğü kaç m/s'dir?

b) Cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü kaç N'dır?

c) Cismin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s²dir?

UYGULAMA » 7

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde basit harmonik hareket yapan 5 kg kütleli cismin geri çağırıcı kuvvet-uzanım grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre cismin

a) periyodunu,

b) genlik noktasındaki ivmesinin büyüklüğünü,

c) denge konumuna 1 metre uzaklıktan geçtiği andaki hızının büyüklüğünü hesaplayınız. ($\pi = 3$ alınız.)

2.1.4. Yay Sarkacı ve Basit Sarkaçta Periyodun Bağlı Olduğu Değişkenler

Yay Sarkacı

Yay sarkacının periyoduna etki eden değişkenleri belirlemek için aşağıda verilen simülasyonu inceleyiniz.

SİMÜLASYON 2	Süre: 20 dk.
Simülasyonun Adı	Yay Sarkacı
Simülasyonun Amacı	Yay sarkacının periyoduna etki eden değişkenleri belirleyebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarında belirtilen basamakları takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



! Uyarı: Simülasyonun adımlarında sönümleme değişkenini sıfır yapınız.

Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız.
2. Giriş simülasyonunda verilen kütle, yay sabiti, genlik ve yer çekimi ivmesi değişkenlerini değiştirerek yay sarkacının periyodunun değişimini inceleyiniz.
3. Vektör simülasyonunda verilen kütle, yay sabiti, genlik ve yer çekimi ivmesi değişkenlerini değiştirerek hız, ivme ve kuvvet vektörlerini inceleyiniz.
4. Enerji simülasyonunda yay sarkacındaki enerji dönüşümlerini inceleyiniz.
5. Enerji dönüşümlerini kullanarak hızın ve ivmenin en büyük ve en küçük olduğu noktaları gerekçeleriyle belirtiniz.
6. Laboratuvar simülasyonunda değeri verilmeyen kütleleri kullanarak yaptığınız ölçümler sonucunda cismin kütlesini nasıl belirleyebileceğinizi açıklayınız.

Simülasyonun Değerlendirmesi

1. Giriş simülasyonunda verilen değişkenlerden genliğin, kütlenin, yay sabitinin, yayın boyunun, yayın kalınlığının ve yer çekimi ivmesinin değiştirilmesi yay sarkacının periyodu üzerinde nasıl bir etkide bulunmuştur? Gerekçeleriyle açıklayınız.

2. Vektör simülasyonunda verilen adımı uyguladığınızda hız, ivme, geri çağırıcı kuvvet ve yer çekimi kuvveti vektörlerinin yönlerinde bir değişim meydana geldiyse değişimin nedenlerini açıklayınız.

Yay sarkacının periyodunu veren matematiksel modele ulaşmak için yay sarkacındaki geri çağırıcı kuvvet ile Hooke (Huk) Yasası ($F = k \cdot x$) birbirine eşitlenirse $F = k \cdot x = m \cdot \omega^2 \cdot x$ bağıntısı elde edilir. Bağıntıdaki açısal hız yerine $\omega = \frac{2\pi}{T}$ yazıldığında $k \cdot x = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot x$ eşitliğine ulaşılır. Burada periyot (T) yalnız bırakıldığında

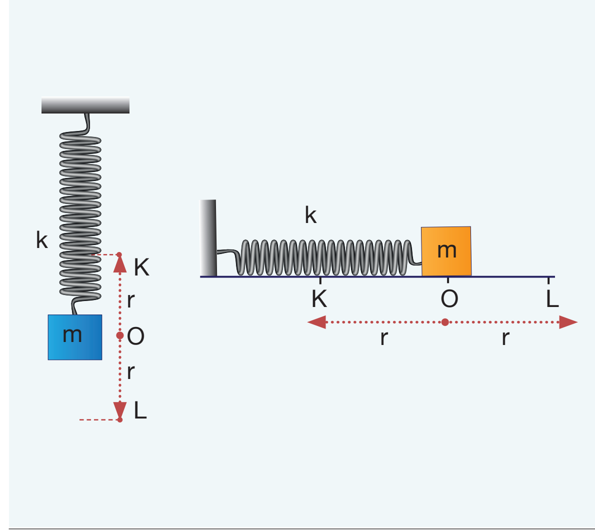
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

matematiksel modeli elde edilir. Yay sarkacının periyodu bu model kullanılarak hesaplanır.

Yay Sarkacının Özellikleri

Şekil 2.14'te düşey ve yatay düzlemde K ve L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan yay sarkaçları gösterilmektedir. Yay sarkacının özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Denge noktasına (O) yaklaşırken cismin hızı artar, ivmesi ve geri çağırıcı kuvveti azalır.
- Cismin hızı; denge noktasında maksimum, K ve L noktalarında sıfır değerini alır.
- Cismin ivmesi; denge noktasında sıfır, K ve L noktalarında maksimum değerini alır.
- Geri çağırıcı kuvvet; denge noktasında sıfır, uç noktalarda maksimum değerini alır.
- Yay sarkacının genliğinin değişmesi periyodu değiştirmez. Bununla birlikte yayda genliğin değişmesi, depolanan potansiyel enerjiyi değiştireceğinden cismin maksimum hızını ve ivme değerini değiştirir.
- Yay sarkacının bulunduğu ortamın çekim ivmesinin değişmesi, yay sarkacının periyodunu değiştirmez.



Şekil 2.14: *Düşey ve yatay düzlemde yay sarkaçları*

SORU 7

Düşey düzlemde serbest hâldeki uzunluğu 1 m olan ve kütlesi ihmal edilen bir yayın ucuna 5 kg kütleli bir cisim asıldığında yayın boyu 1,025 metre olmaktadır. Ucuna kütle asılı yay, denge konumundan 0,35 metre daha uzatılıp serbest bırakılıyor ve yayın basit harmonik hareket yapması sağlanıyor.

Buna göre cismin, denge konumundan ilk geçişi için gereken süre kaç saniyedir?
($\pi = 3$ ve $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

Yay sarkacının periyodu $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ matematiksel modeliyle hesaplanır. Yay sarkacının periyodunu hesaplamak için öncelikle yay sabitinin bulunması gerekir. Yayın, cismin ağırlığından dolayı uzama miktarı kullanılarak yay sabiti bulunur. $x = 1{,}025 - 1 = 0{,}025$ m

$F = k \cdot x$

$50 = k \cdot 0{,}025$

$k = 2\,000$ N/m olur. Bulunan k değeri yay sarkacının periyodunu veren matematiksel modelde yerine koyularak sarkacın periyodu

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \cdot 3\sqrt{\frac{5}{2000}} = 0{,}3$ saniye bulunur.

Yay sarkacının denge konumundan ilk geçişi için gereken süre, T/4 olduğundan 0,3/4 = 0,075 saniye olarak hesaplanır.

ARAŞTIRMA

Bilim insanları, 2018 yılından beri insan hareketlerinden enerji elde ederek özellikle mobil cihazların kullanım sürelerini artırmayı amaçlayan projeler yürütmektedir. Bu projelerden biri de piezoelektrik yay sarkacını kullanarak insan hareketlerinden enerji hasadı yapmayı hedefleyen projedir. Canlı hareketlerinden enerji hasadı yapmaya çalışan projeleri araştırınız, bu projelerin verimini artırmak için önerilerde bulununuz ve önerilerinizi sınıf ortamında arkadaşlarınızla tartışınız.

ETKİNLİK 1	Süre 15 dk.
Etkinliğin Adı	Deprem Afeti
Etkinliğin Amacı	Salınımların yapılar üzerindeki etkisini analiz edebilme.
Araç Gereç	Kalem, kâğıt.

Yönerge: Aşağıda verilen metni okuyunuz ve soruları cevaplayınız.



Binaların doğal bir salınım frekansı bulunmaktadır. Bu salınım frekanslarının etkisi günlük hayatta pek görülmez. Bununla beraber bir deprem esnasında binanın doğal salınım frekansı ile deprem frekansı rezonans hâle gelirse bu durum, binanın yıkılmasına veya kısmi hasar almasına neden olabilir.

1. İnşa edilen binalarda daha hafif malzemelerin kullanılması, binanın doğal salınım frekansı üzerinde nasıl bir etkide bulunur? Gerekçeleriyle açıklayınız.

2. Binaların doğal salınım frekanslarının değişmesinin avantaj ve dezavantajları nelerdir? Gerekçeleriyle açıklayınız.

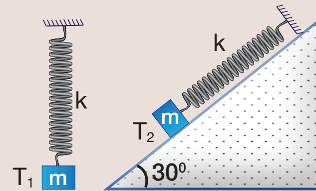
3. Binaların daha dayanıklı inşa edilmesi için neler önerirsiniz?

UYGULAMA » 8

Sürtünmesi ihmal edilen bir ortamda, şekilde verilen özdeş yayların ucuna özdeş m kütleleri asılarak yaylara basit harmonik hareket yaptırılmaktadır.

Yay sarkaçlarının periyotları oranı $\frac{T_1}{T_2}$ kaçtır?

($\sin 30^0 = 0,5; \cos 30^0 = \frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)



Yayların Bağlanması

Günlük hayatta karşılaşılan yay sarkacı sistemlerinde birden fazla yay, seri veya paralel bağlanarak kullanılmaktadır. Yayların seri veya paralel bağlanmasının en önemli nedeni, sistemin yay sabitini ve buna bağlı olarak salınım periyodunu değiştirmektir.

Seri Bağlanma

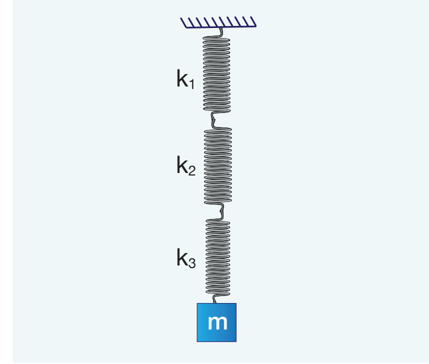
Şekil 2.15'te seri bağlı yaylardan oluşan yay sarkacı gösterilmiştir. Seri bağlı yaylarda her bir yaya etkiyen kuvvet eşittir. Yay sisteminin uzanımı, sistemdeki her bir yayın uzanımının toplamı kadardır.

n tane yayın seri bağlanması sonucunda oluşan yay sisteminin yay sabiti

$\frac{1}{k_{eeş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + ... + \frac{1}{k_n}$ bağıntısı ile bulunur.

n tane seri yayın oluşturduğu yay sarkacının periyodu

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_{eş}}}$ matematiksel modeli ile hesaplanır.



Şekil 2.15: *Seri bağlı yaylardan oluşan yay sarkacı*

Paralel Bağlanma

Şekil 2.16'da paralel bağlı yaylardan oluşan yay sarkacı gösterilmiştir. Sisteme etki eden kuvvet, yaylara etkiyen kuvvetler toplamıdır. m kütleli cisim, sistemdeki tüm yaylar eşit uzanıma sahip olacak şekilde paralel bağlı yay sistemine asılmıştır.

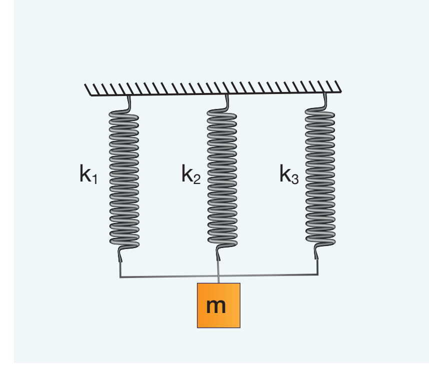
n tane yayın paralel bağlanması sonucunda oluşan yay sisteminin yay sabiti

$k_{eş} = k_1 + k_2 + k_3 + ... + k_n$ bağıntısı ile bulunur.

n tane paralel yayın oluşturduğu yay sarkacının periyodu

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_{eş}}}$ matematiksel modeli ile hesaplanır.

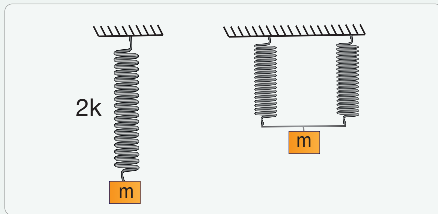
Seri bağlı yaylar, sistemin yay sabitini küçültüp periyodunu artırırken paralel bağlı yaylar, sistemin yay sabitini büyütüp periyodunu azaltmaktadır.



Şekil 2.16: *Paralel bağlı yaylardan oluşan yay sarkacı*

SORU 8

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda 2k yay sabitli bir yayın ucuna asılı m kütleli cismin periyodu T_1'dir. Yay, iki eşit parçaya bölündükten sonra şekildeki gibi bağlanıp ucuna m kütleli bir cisim asıldığında cismin periyodu T_2 olmaktadır.



Buna göre $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

Yay sabiti ile yayın boyu arasında ters orantı vardır. Bu nedenle yarıya bölünen yayların yay sabiti 4k olur. Şekildeki yaylar bölündükten sonra paralel bağlandığından eş değer yay sabiti

$k_{eş} = k_1 + k_2 = 4k + 4k = 8k$ elde edilir.

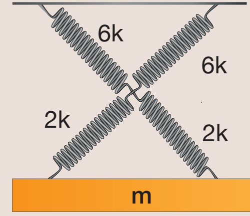
$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ eşitliğinden $\frac{T_1}{T_2} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}}{2\pi\sqrt{\frac{m}{8k}}} = 2$

sonucuna ulaşılır.

UYGULAMA » 9

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda 6k ve 2k yay sabitli yaylar, şekildeki gibi bağlandıktan sonra yay sisteminin alt ucuna m kütleli bir cisim takılıyor ve yay sistemi denge konumundan bir miktar çekilip bırakılıyor.

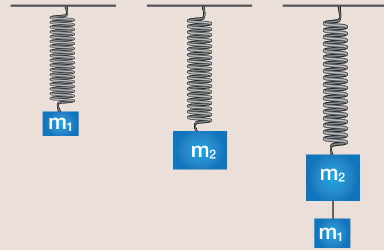
Buna göre m kütleli cismin periyodunu veren bağıntıyı yazınız.



UYGULAMA » 10

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda özdeş yayların ucuna m_1 ve m_2 kütleli cisimlerin asılmasıyla oluşturulan yay sarkaçlarının periyotları sırasıyla 5s ve 12s'dir.

m_1 ve m_2 kütleli cisimler birlikte yayın ucuna asıldığında oluşan yay sarkacının periyodu kaç saniyedir?



ETKİNLİK 2		Süre	15 dk.
Etkinliğin Adı	Uzayda Kütle Nasıl Ölçülür?		
Etkinliğin Amacı	Yay sarkacının periyodu ile ilgili hesap yapabilme.		
Araç Gereç	Kâğıt, kalem.		

Yönerge: Aşağıda verilen metni okuyunuz ve soruları cevaplayınız.



Dinamometre, bir cismin ağırlığını ölçmek için kullanılır. Dinamometreler yayların uzama prensibine göre çalışır. Esneklik sınırı aşılmamış yayda yük ve uzanım doğru orantılıdır. Bir cismin kütlesini ölçmek için kullanılan eşit kollu teraziler, yer çekimsiz ortamda çalışmaz. ISS'de (Uluslararası Uzay İstasyonu) düzenli sağlık kontrolüne girmek zorunda olan astronotların kütleleri, yay sabitleri bilinen 2 yay, kütlesi bilinen bir sandalye ve elektronik saatten oluşan bir düzenekle ölçülür.

Sizce parçada verilen malzemeler kullanılarak nasıl bir düzenek oluşturulmuştur? Bu düzenek ile bir astronotun kütlesini ölçebileceğiniz matematiksel model nedir?

Basit Sarkaç

Basit sarkacın periyoduna etki eden değişkenlerin belirlenmesi için aşağıda verilen simülasyonu inceleyiniz.



SİMÜLASYON 3 | Süre 15 dk.

Simülasyonun Adı	Basit Sarkaç
Simülasyonun Amacı	Basit sarkacın periyoduna etki eden değişkenleri belirleyebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarında belirtilen basamakları takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



! Uyarı: Simülasyonun adımlarında sönümleme değişkenini sıfır yapınız.

Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız.
2. Giriş simülasyonunda verilen kütle, ip uzunluğu, genlik ve yer çekimi ivmesi değişkenlerini değiştirerek basit sarkacın periyodunun değişimini inceleyiniz.
3. Enerji simülasyonunda basit sarkaçtaki enerji dönüşümlerini inceleyiniz.
4. Enerji dönüşümlerini kullanarak hızın ve ivmenin en büyük ve en küçük olduğu noktaları gerekçeleriyle belirtiniz.
5. Laboratuvar simülasyonunda iki farklı uzunluktaki sarkacın hareketini inceleyiniz.

Simülasyonun Değerlendirmesi

1. Giriş simülasyonunda verilen değişkenlerden genliğin, kütlenin, yay sabitinin, sarkaç ipinin uzunluğunun, yer çekimi ivmesinin değiştirilmesi, basit sarkacın periyodu üzerinde nasıl bir etkide bulunmuştur? Gerekçeleriyle açıklayınız.

2. Laboratuvar simülasyonunda farklı genlikteki sarkaçların periyot süreleri ve periyot izleri arasındaki ilişki nasıldır?

3. Laboratuvar simülasyonunda genliğin değiştirilmesinin hız ve ivme büyüklükleri üzerindeki etkisi nasıldır?

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda denge konumundan θ ($\theta < 5^0$) kadar ayrılıp bırakılan basit sarkacın (Şekil 2.17) periyodunu bulmak için $F = m \cdot g \cdot \sin\theta$ denkleminde $\theta < 5^0$ şartından dolayı KO yayının uzunluğu x uzunluğuna eşit kabul edilir.

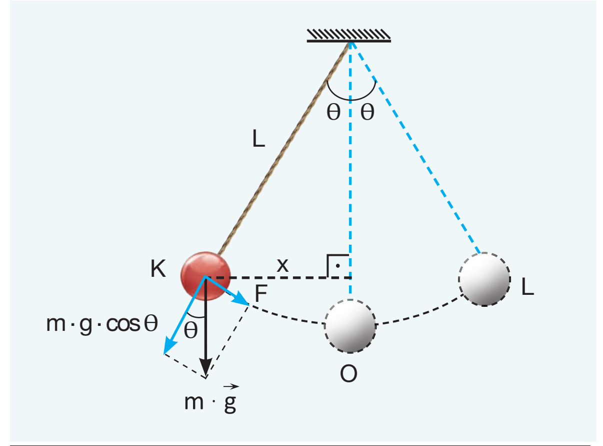
$\sin\theta = \frac{x}{L}$ ifadesi kuvvet denkleminde yerine yazılarak geri çağırıcı kuvvete eşitlenirse

$m \cdot g \cdot \frac{x}{L} = m \cdot \omega^2 \cdot x$ bağıntısı elde edilir.

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ ifadesi bağıntıda yerine yazılarak periyot (T) yalnız bakıldığında basit sarkacın periyodunu veren

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

eşitliğine ulaşılır.



Şekil 2.17: *Basit sarkaç*

Basit Sarkacın Özellikleri

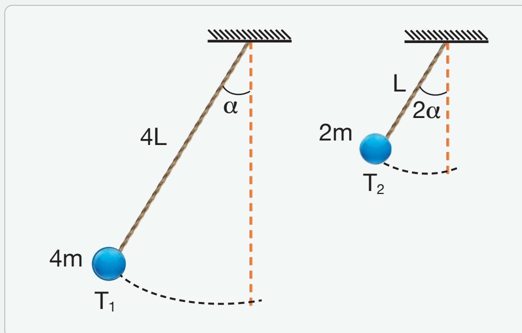
- K ve L arasında basit harmonik hareket yapan basit sarkaca bağlı cismin hızı, denge konumuna doğru artar. Cismin hızı, K ve L noktalarında anlık olarak sıfırdır.
- Sarkacın periyodu, $\theta < 5^0$ şartıyla genliğe bağlı değildir.
- Sarkacın periyodu, cismin kütlesine bağlı değildir.

MERAKLISINA BİLİM

Galileo Galilei, İtalya'nın Toskana bölgesindeki Pisa Katedrali'nin tavanına asılı bir avizenin salınımını incelerken süreyi ölçmek için bir aleti olmadığından kendi nabız atışlarını kullanır. Sarkacın genliğinin zamanla değiştiğini fakat periyodunun değişmediğini gözlemler. Buradan hareketle sarkacın periyodunun genliğe bağlı olmadığı sonucuna ulaşır.

SORU 9

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda şekilde verilen 4L uzunluğundaki ipin ucuna 4m kütleli bir cisim, L uzunluğundaki ipin ucuna ise 2m kütleli bir cisim asılıyor. Cisimler denge konumundan α ve 2α açılarında ayrılıp serbest bırakılarak sırasıyla T_1 ve T_2 periyotlu basit sarkaçlar oluşturuluyor.



Buna göre basit sarkaçların periyotları oranı $\frac{T_1}{T_2}$ kaçtır? ($2\alpha < 5^0$)

ÇÖZÜM

Basit sarkacın periyodu $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ bağıntısı ile bulunur. İki sarkaç için verilen uzunluk değerleri yerine yazılıp oranlandığında

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{4L}{g}}}{2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}} = 2$$

sonucuna ulaşılır.

ETKİNLİK 3	Süre 15 dk.
Etkinliğin Adı	Ağaç Dalı Ne Kadar Uzun?
Etkinliğin Amacı	Basit sarkacın periyodu ile ilgili hesap yapabilme.
Araç Gereç	Kalem, kâğıt.

Yönerge: Aşağıda verilen metni okuyunuz ve soruları cevaplayınız.



Beren ve Ali, yer düzleminden yüksekliği ihmal edilen bir ağaç dalına bağlı salıncakta sallanarak eğleniyorlar. Salıncağın bağlı olduğu dalın yerden yüksekliğini ölçmek için klasik ölçme yöntemleri (uzunluk ölçme) dışında bir yöntem kullanmak istiyorlar.

Buna göre

1. Beren ve Ali'nin hangi nicelikleri bilmeye ve hangi ölçme araçlarına ihtiyacı vardır?



2. Ölçmede kullanabilecekleri yeni yöntemi adım adım açıklayınız?



3. Ölçmede hataya yol açabilecek etkenler nelerdir? Bu hataları azaltmak için ne gibi önlemler alınabilir?



4. Aynı düzenek kullanılarak dünyanın farklı noktalarında ölçüm yapıldığında elde edilen sonuçlar arasında farklılık olur mu? Sebepleri ile açıklayınız.



5. Aynı düzenek kullanılarak uzunluk dışında hangi nicelik ölçülebilir?



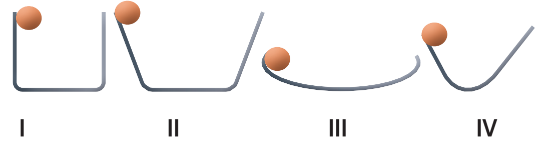
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerden doğru olanların karşısına "D", yanlış olanların karşısına "Y" yazınız.

1. Salınımlar belli zaman aralıklarında tekrarlanıyorsa bu harekete periyodik hareket denir. ☐
2. Denge konumu etrafındaki salınım hareketlerine öteleme hareketi denir. ☐
3. Yayın ucuna asılı cisme yay tarafından geri çağırıcı kuvvetin uygulanmadığı noktaya denge noktası denir. ☐
4. Basit harmonik hareket yapan bir cismin denge noktasına en uzak olduğu mesafeye genlik denir. ☐
5. Basit harmonik hareket yapan cismin frekans birimi saniyedir. ☐
6. Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin bir düzlemdeki iz düşümü, basit harmonik hareket yapar. ☐
7. Basit harmonik hareket yapan cismin hızı sabittir. ☐
8. Basit harmonik hareket yapan cisme etki eden geri çağırıcı kuvvet ile cismin uzanımı doğru orantılıdır. ☐
9. Basit harmonik hareket yapan yayın ucuna bağlı cismin periyodu hareketin genliğine bağlı olarak değişir. ☐
10. Yer çekimi ivmesinin değişmesi, yay sarkacının periyodunu değiştirmez. ☐
11. Basit sarkaçta cismin kütlesinin değişmesi, basit sarkacın periyodunu değiştirir. ☐
12. Basit harmonik harekette ivmenin yönü, daima denge noktasına doğrudur. ☐
13. Basit harmonik hareket yapan cismin ivmesinin büyüklüğü sabittir. ☐
14. Basit harmonik hareket yapmakta olan bir cismin uzanım vektörü ile hız vektörü her zaman zıt yönlüdür. ☐
15. Basit harmonik hareket yapmakta olan bir cismin hızı, genlik noktalarında anlık olarak sıfırdır. ☐

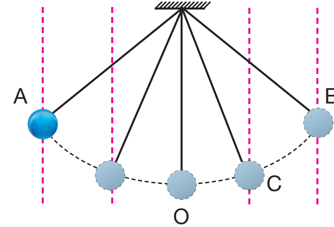
Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

16. Özden öğretmen, sürtünmesi önemsiz yeterli uzunlukta bükülebilir bir çubuk ve bir bilye kullanarak bir düzenek kurmak ve bu düzenekle basit harmonik hareket yapan cisimleri öğrencilerine anlatmak istemektedir.
Özden öğretmen aşağıdaki düzeneklerden hangilerini kullanabilir? Nedenleriyle açıklayınız.



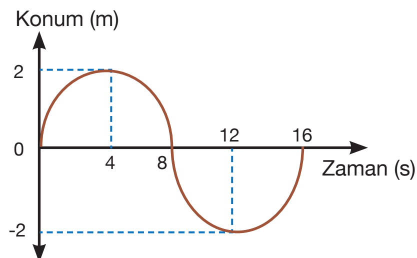
17. **Bir hareketin basit harmonik hareket olarak nitelendirilebilmesi için gereken şartlar nelerdir?**

18. Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda bir cisim, basit sarkacın A noktasından serbest bırakılıyor.



Buna göre hareketin denge konumunu, genliğini; C noktasından geçerken cismin uzanımını ve cisme etki eden geri çağırıcı kuvveti şekil üzerinde gösteriniz.

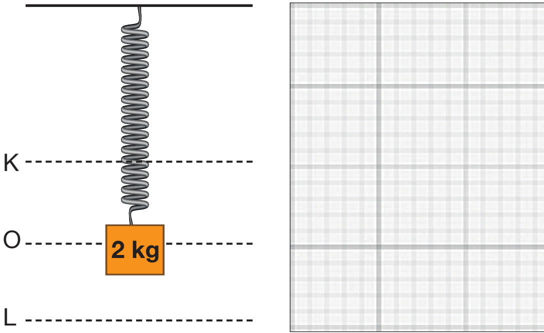
19. Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda ucuna 0,5 kg kütleli cisim asılarak oluşturulan yay sarkacının konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre sarkacın genliğini, periyodunu ve frekansını bulunuz. Cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin, cismin ivmesinin ve hızının en büyük değerini hesaplayınız. (π = 3 alınız.)

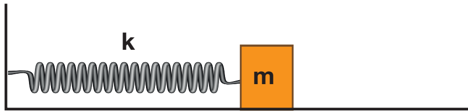
20. **Salınım ile basit harmonik hareket arasındaki farklar nelerdir?**

21. Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda 2 kg kütleli bir cisim, şekildeki gibi yayın ucuna asılarak L noktasına kadar çekilip bırakılıyor.
Oluşan basit harmonik hareketin frekansı 1/4 s^{-1} olduğuna göre yay sarkacının konum-zaman grafiğini çiziniz. (IKOI = IOLI = 10 cm)



22. **Yay sarkacında kullanılan yayın ve basit sarkaçta kullanılan ipin kütleleri ihmal edilmeseydi bu durum, yay sarkacının ve basit sarkacın periyodunu nasıl değiştirirdi?** (İpin boyu sabit kalmaktadır.)

23. Şekilde verilen k yay sabitli yayın ucuna m kütleli cisim asılarak oluşturulan yay sarkacının frekansı f'dir.



Basit harmonik hareket yapan yay sarkacının frekansı

I. yay sarkacına sürtünmesiz eğik düzlem üzerinde basit harmonik hareket yaptırma,
II. yayın boyunu kısaltma,
III. özdeş paralel yay bağlama

işlemlerinden hangileri yapılırsa değişir?

24. Yay sarkacı ve basit sarkaç ile İstanbul'da periyot ölçümü yapan Alican, yay sarkacının ve basit sarkacın periyotlarının eşit olduğunu gözlemliyor.
Alican, Kuzey Kutbu'na yakın bir noktada ölçümü tekrarlarsa yay sarkacının ve basit sarkacın periyodu nasıl değişir?

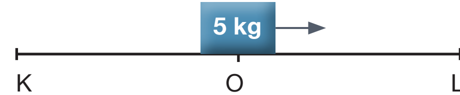
25.



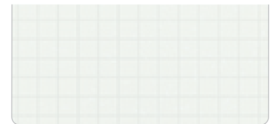
Basit sarkaçlar, Dünya'nın dönüşünü ispat etmekten yer çekimi ivmesini ve zamanı ölçmeye kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Zamanı ölçmek için kullanılan ve saniyeleri vuran basit sarkacın periyodu 2 saniye olmalıdır.
Sarkaçlı bir duvar saatinin sarkaç kol boyunun uzatılması saatin gösterdiği değer üzerinde nasıl bir etkide bulunur?

26. **Saniyeleri vuran sarkaçlı duvar saati tasarlamak isteyen bir öğrenci, kaç metre uzunluğunda sarkaç kolu kullanmalıdır?**
($\pi = 3$ ve $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

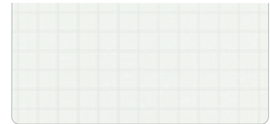
27. Şekilde gösterildiği gibi 5 kg kütleli bir cisim, sürtünmesiz yatay düzlemde K ve L noktaları arasında 6 saniye periyotla basit harmonik hareket yapmaktadır.



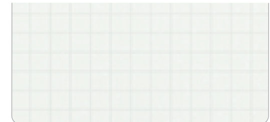
Buna göre cismin
a) kuvvet-konum,



b) hız-konum,



c) ivme-konum grafiklerini çiziniz.
($\pi = 3$ alınız.
IKOI = IOLI = 20 cm)



Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

28. I. Doğru akım geçen bir teldeki elektronlar
II. Düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan cismin gölgesi
III. Enerji kayıplarının ihmal edildiği ortamda hız tümseğinden geçen aracın amortisörü

Yukarıda verilenlerden hangilerinin hareketi basit harmonik hareket olarak adlandırılır?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

29. Yay sarkacına bağlı bir cisim, sürtünmesiz yatay düzlemde basit harmonik hareket yapmaktadır.

Bu cisim ile ilgili

I. Cisme etki eden geri çağırıcı kuvvetin yönü ile ivmenin yönü zıttır.
II. Denge noktasında cismin hızı en büyük, ivmesi ise en küçük değeri alır.
III. Sarkacın periyodu genliğe bağlı değildir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

30. Sürtünmesi ihmal edilen bir ortamda basit sarkacın ucuna asılı olan cismin kütlesi artırılıyor.

Buna göre

I. Sistemin periyodu değişir.
II. Sistemin frekansı değişmez.
III. Cismin denge konumundan geçtiği sıradaki hızının büyüklüğü artar.

yargılarından hangileri doğrudur?

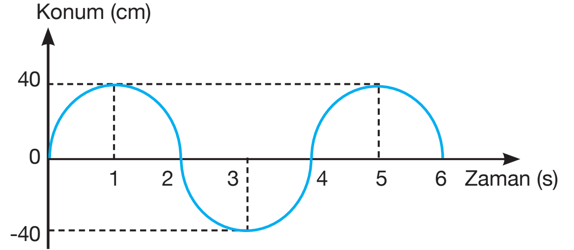
A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

31. I. Yer çekimi ivmesi
II. Cismin kütlesi
III. Yayın esneklik sabiti

Yukarıda verilen niceliklerden hangilerinin değişmesi yay sarkacının frekansını değiştirir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

32. Sürtünmeleri ihmal edilen bir ortamdaki basit sarkacın konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.



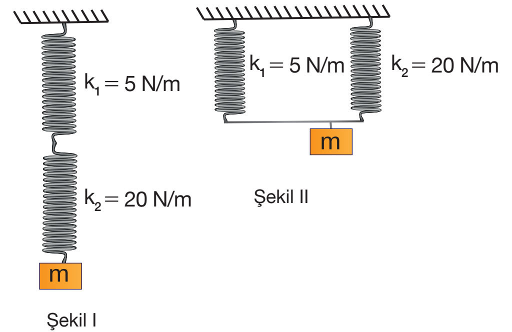
Buna göre

I. Basit sarkacın genliği 0,4 metredir.
II. Basit sarkacın periyodu 2 saniyedir.
III. Cismin 3 ve 5. saniyedeki hız büyüklükleri eşittir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

33. Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda $k_1 = 5$ N/m ve $k_2 = 20$ N/m yay sabitli yayların ucuna özdeş m kütleli cisimler, şekildeki gibi bağlanmış ve sırasıyla T_1 ve T_2 periyotlu yay sarkaçları oluşturulmuştur.



Buna göre T_1/T_2 oranı kaçtır?

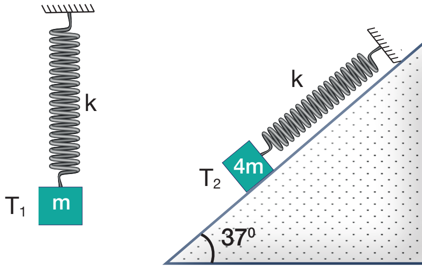
A) $\frac{2}{5}$ B) $\frac{1}{2}$ C) $\frac{3}{4}$ D) 1 E) $\frac{5}{2}$

34. Bir öğrenci, 2,45 metre uzunluğundaki ipe bağlı 1 kg kütleli cisim ile basit sarkaç oluşturuyor. Basit sarkacın yaptığı basit harmonik hareketin frekansını 1/3 s^{-1} olarak ölçüyor.

Buna göre öğrencinin bulunduğu konumda yer çekimi ivmesi kaç m/s²dir? ($\pi = 3$ alınız. Sürtünmeleri ihmal ediniz.)

A) 9,6 B) 9,7 C) 9,8 D) 9,9 E) 10

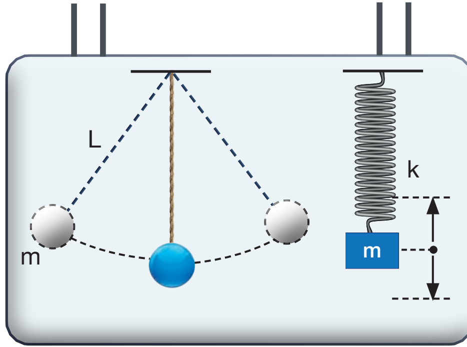
35. Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda özdeş yayların ucuna bağlı m ve 4m kütleli cisimler, şekildeki gibi basit harmonik hareket yapmaktadır.



Yay sarkaçlarının periyotları sırasıyla T_1 ve T_2 olduğuna göre T_1/T_2 oranı kaçtır?

A) $\frac{1}{4}$ B) $\frac{1}{2}$ C) $\frac{3}{4}$ D) 1 E) 2

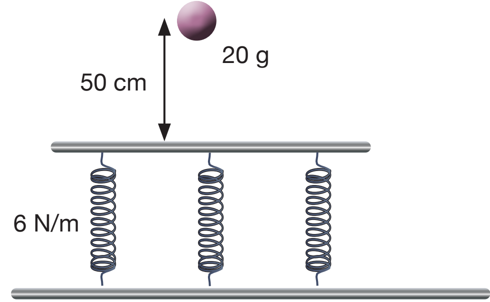
36. Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda basit sarkaç ve yay sarkacı, hareket etmeyen bir asansörün içinde şekildeki gibi basit harmonik hareket yapmaktadır.



Asansör yukarı yönlü a ivmesi ile hızlanma hareketi yapmaya başladığında basit sarkacın ve yay sarkacının periyodu nasıl değişir?

	Basit Sarkaç	Yay Sarkacı
A)	Değişmez	Artar
B)	Değişmez	Değişmez
C)	Azalır	Değişmez
D)	Azalır	Artar
E)	Artar	Artar

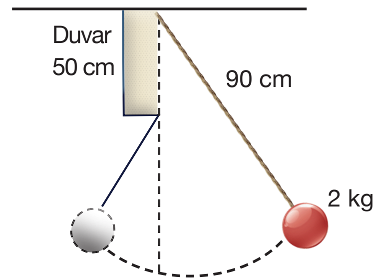
37. Sürtünmelerin önemsenmediği bir ortamda yatay zemine bağlı özdeş üç yay üzerine ağırlığı önemsiz bir platform konuyor. Platformun yüzeyinden 50 cm yükseklikte bulunan 20 g kütleli bir oyun hamuru platforma doğru serbest bırakılıyor.



Oyun hamuru platform ile esnek olmayan çarpışma yaparak platforma yapıştığına göre oluşan yay sarkacının periyodu kaç saniyedir?
($\pi = 3$, $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

A) 0,2 B) 0,3 C) 0,4 D) 0,5 E) 0,6

38. Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda 90 cm uzunluğundaki ipin ucuna asılan 2 kg kütleli cisim, denge konumundan ayrılarak serbest bırakılıyor. Cismin bağlı olduğu ip, şekildeki gibi denge konumundan geçtiği sırada 50 cm uzunluğundaki duvar çıkıntısına takılıp yoluna devam etmek suretiyle basit harmonik hareket yapıyor.



Buna göre sistemin periyodu kaç saniyedir?
($\pi = 3$, $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

A) 1,5 B) 1,6 C) 1,8 D) 1,9 E) 2



Karekodda verilen bulmacaları çözünüz.

3. ÜNİTE

DALGA MEKANİĞİ

ÜNİTE BÖLÜMLERİ

3.1. DALGALARDA KIRINIM, GİRİŞİM VE DOPPLER OLAYI

3.2. ELEKTROMANYETİK DALGALAR



3. ünitenin sunumu için karekodu okutunuz.



3. üniteye ulaşmak için karekodu okutunuz.

1. BÖLÜM

3.1. DALGALARDA KIRINIM, GİRİŞİM VE DOPPLER OLAYI



Anahtar Kavramlar

- Girişim
- Kırınım
- Doppler Olayı



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde su dalgalarında kırınım olayının dalga boyu ve yarık genişliği ile ilişkisi belirlenecek, su dalgalarında girişim olayı deney ve simülasyonlar yardımıyla açıklanacaktır. Işığın çift yarıkta girişimine ve tek yarıkta kırınımına etki eden değişkenler deney ve simülasyonlar yardımıyla belirlenecektir. Bu iki olaydan yola çıkılarak ışığın dalga doğası hakkında çıkarımlar yapılacaktır. Son olarak Doppler olayının etkileri ışık ve ses dalgalarından örneklerle açıklanacaktır.



TSUNAMİLER VE DALGAKIRANLAR



Yazın kıyıya vuran dalgaları izlemek, denizin içindeyken kendini kumsala doğru ilerleyen dalgalara bırakmak, yine dalgaları kullanarak sörf yapmak birçok insan için keyif verici aktivitelerdendir. Ancak dalgalar, her zaman bu kadar keyif verici olmayabilir. Depremler, volkanik hareketler, zemin kaymaları, meteor çarpmaları gibi olaylar sonucunda deniz ve okyanuslara aktarılan enerji, hızı 900 km/h'e ulaşan devasa dalgalar oluşturabilmektedir.

Çok büyük yıkımlara yol açan bu tür dalgalar, tsunami olarak adlandırılır. Zayıf bir tsunami bile kıyılarda ve sığ sularda şiddetli akıntılar oluşturarak limanlarda ve küçük tekne barınaklarında hasarlara yol açabilir.

Araştırmalar, tsunaminin günün herhangi bir saatinde gerçekleşebileceğini göstermektedir. Yansıma ve kırınım sonucunda dalgalar, okyanuslardan kıyılara ulaşmakta ve tonlarca kütleli kayaları kıyı şeridinden metrelerce içeri taşımaktadır.

Bilim insanları, tsunaminin yol açtığı zararları en aza indirmek amacıyla araştırmalara devam etmekte, okyanuslara kıyısı olan ülkeler için erken uyarı sistemi ve dalgakıran modelleri geliştirmektedir. Japonya, karada olduğu gibi denizde de birçok depremle karşılaşmaktadır. Bilim insanları ve mühendisler, Japonya'da olası bir tsunamiye karşı yerleşim yerlerini korumak için dev bir dalgakıran projesi hazırlamaktadır. Tsunami dalgakıranları, rüzgâr dalgalarının yanı sıra tsunamileri de sönümleyerek koruma alanlarının zarar görmesini engelleyen görkemli boyutlara sahip deniz yapılarıdır.



HAZIRLIK SORULARI

1. Tsunamiler nasıl meydana gelir?
2. Dalgaların genliği ile kıyı şeridinde meydana getirdiği etkiler arasında nasıl bir ilişki vardır?
3. Yüksek genlikli dalgaların kıyı şeridine verdiği zararları en aza indirmek için dalgakıranların tasarımında nelere dikkat edilmelidir?

3.1.1. Su Dalgalarında Kırınım Olayı

Kıyılarda yer alan yapıların, gemi ve balıkçı teknelerinin dalgaların yıkıcı ve yıpratıcı etkilerinden korunması amacıyla kıyı bölgelerinde uygun yerlere koylar, limanlar (Görsel 3.1) veya dalgakıranlar (Görsel 3.2) yapılmaktadır. Bu yapılar, kıyılara yaklaşan su dalgalarının enerjilerinin sönümlenmesi ve kıyıdaki binaların ve araçların uğrayacağı zararın azaltılmasında önemli rol oynar.

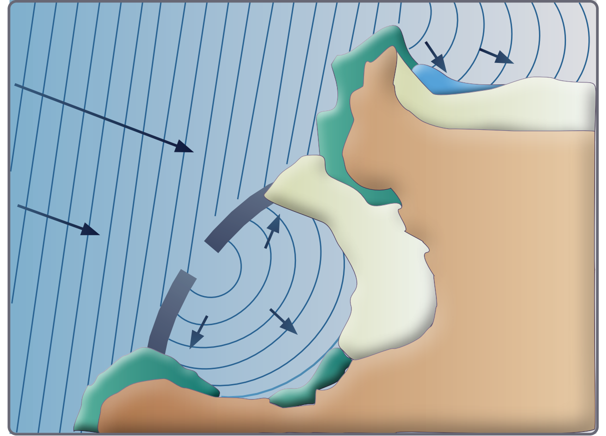
Kıyılara ve koylara yaklaşan doğrusal su dalgaları, dalga boyuna oranla dar bir aralıktan ya da keskin kenarlı bir engelden geçerken bükülerek dairesel bir desen oluşturur (Şekil 3.1). Oluşan dairesel su dalgaları her yönde yayılmaya başlar. Su dalgalarında gözlemlenen bu olaya **kırınım**, kırınım olayında oluşan desene de **kırınım deseni** adı verilir.



Görsel 3.1: *Dalgaların yıpratıcı etkilerinden yatları koruyan yat limanı*



Görsel 3.2: *Kıyıya varmak üzereyken dalgakırana çarparak kırınıma uğrayan su dalgaları*



Şekil 3.1: *Su dalgalarının hem dar bir aralıkta hem de keskin kenarlı bir engelde kırınıma uğraması*

Su dalgalarında kırınım olayının bağlı olduğu değişkenleri “Su Dalgalarında Kırınım” adlı simülasyonu uygulayarak belirleyiniz.



SİMÜLASYON 1	Süre 20 dk.
Simülasyonun Adı	Su Dalgalarında Kırınım
Simülasyonun Amacı	Su dalgalarında kırınım olayının dalga boyu ve yarık genişliği ile ilişkisini belirleyebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız ve uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra “Simülasyonun Değerlendirmesi” bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Menüde yer alan "Yarık Deneyleri" bölümünü aktif hâle getiriniz.
2. Ekranın sol tarafında, su dalgası kaynağının üzerinde bulunan yeşil butona basarak kaynağı çalıştırınız.
3. Ekranın sağ üst köşesinde yer alan genliği en büyük değerine getiriniz.
4. Ekranın sağ üst köşesinde yer alan frekansı yavaş yavaş artırarak en büyük değerine getiriniz.
5. Frekansı artırarak dalga boyu değişimini gözlemleyiniz.
6. Daha sonra frekansı yavaş yavaş azaltarak dalga boyu değişimini gözlemleyiniz. Bu gözlemler sırasında $\vartheta = \lambda \cdot f$ formülünü göz önünde bulundurunuz.

$\vartheta = \lambda \cdot f$	ϑ: su dalgalarının hızı	λ: dalga boyu	f: frekans

7. Frekans en büyük değerindeyken ekranın sağ alt köşesinde yer alan yarık genişliğini en büyük değerine getirerek oluşan dalga desenini gözlemleyiniz.
8. Frekans en büyük değerindeyken yarık genişliğini en küçük değerine getirerek oluşan dalga desenini gözlemleyiniz.

Simülasyonun Değerlendirmesi

1. **Dalga boyunda meydana gelen değişim, kırınım olayını nasıl etkiledi? Açıklayınız.**

2. **Gözlemlerinize dayanarak yarık genişliği ile kırınım olayı arasındaki ilişkiyi belirleyiniz.**

3. **Su derinliğinin sabit olduğu dalga leğeninde frekansın artması, dalga boyunu nasıl değiştirmiştir? Açıklayınız.**

4. **Yaptığınız gözlemlere dayanarak su dalgalarında kırınım olayını tanımlayınız.**

5. **Su dalgalarında meydana gelen kırınım olayını daha önce gözlemlediniz mi? Bu olayın günlük hayatta ne gibi yararları olabilir? Açıklayınız.**

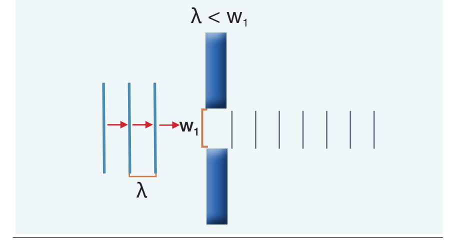
Kırınım olayının gerçekleşmesi, belli koşulların sağlanmasına bağlıdır. Durgun su yüzeyinde oluşturulan λ dalga boylu doğrusal su dalgaları, engel aralığı w olan engeller arasına gönderildiğinde üç farklı durum ortaya çıkabilir:

1. Engel aralığı (w_1), doğrusal su dalgalarının dalga boyundan (λ) büyükse kırınım olayı gözlemlenmez. Engele gelen doğrusal su dalgaları, engelden geçtikten sonra Şekil 3.2: a'daki gibi aynı doğrultuda hareketine devam eder.

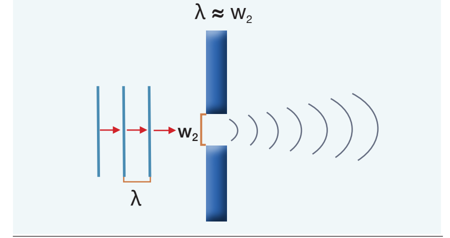
2. Engeller birbirine yaklaştırılarak engel aralığı (w_2), doğrusal su dalgalarının dalga boyuna (λ) yakın bir değere getirilirse kırınım olayı kısmen gözlemlenir. Bu durumda doğrusal su dalgaları engel aralığından geçtikten sonra hafif bir bükülmeye uğrar (Şekil 3.2: b).

3. Engel aralığı (w_3) biraz daha daraltılır ve doğrusal su dalgalarının dalga boyundan (λ) daha küçük bir değere getirilirse kırınım olayı net bir şekilde gözlemlenir. Bu durumda kırınım deseni belirginleşir ve doğrusal su dalgaları engelden geçerek halkalar hâlinde her yöne yayılır (Şekil 3.2: c).

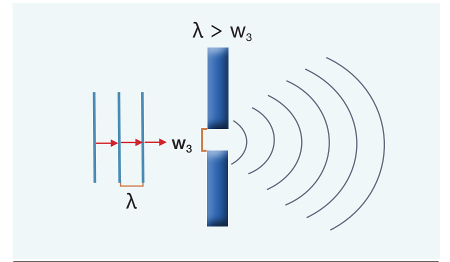
Su derinliği her yerinde aynı olan bir dalga leğeninde doğrusal su dalgaları üretmekte olan bir dalga kaynağının frekansı değiştirilecek olursa bu durum, kırınım olayının gözlemlenme ihtimalini etkiler. Dalga kaynağının frekansının artırılması, küçük dalga boylu su dalgalarının elde edilmesine neden olur ve kırınım olayının gerçekleşme ihtimalini zayıflatır. Kaynağın frekansı azaltıldığında ise daha büyük dalga boyuna sahip su dalgaları meydana gelir. Su dalgalarının dalga boyu, engel genişliğine yakın ya da ondan büyük bir değere ulaştığında kırınım olayı gözlemlenir.



Şekil 3.2: a) *$\lambda < w_1$ durumunda kırınıma uğramadan yoluna devam eden su dalgaları*



Şekil 3.2: b) *$\lambda \approx w_2$ durumunda kısmen kırınıma uğrayan su dalgaları*



Şekil 3.2: c) *$\lambda > w_3$ durumunda kırınıma uğrayan su dalgaları*

SORU 1



Deniz kıyısındaki yapıları dalgaların yıpratıcı etkilerinden korumak için yapılmış bir dalgakıranın iki tarafındaki su derinlikleri eşittir. Açık deniz tarafından gelen doğrusal dalgalar, şekildeki gibi dalgakıranın diğer tarafına geçiyor.

Buna göre

I. Su dalgalarının dalga boyları engel aralığından geçtikten sonra azalmıştır.

II. Dalgakıranın engel aralığı, su dalgalarının dalga boyundan küçüktür.

III. Su dalgaları, dar aralıktan geçtikten sonra yavaşlamıştır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

Görselde doğrusal su dalgaları, dar aralıktan geçtikten sonra yollarına dairesel olarak devam ederek kırınıma uğramıştır. Bu durum, engel aralığının su dalgalarının dalga boyundan küçük olması sonucunda mümkündür.

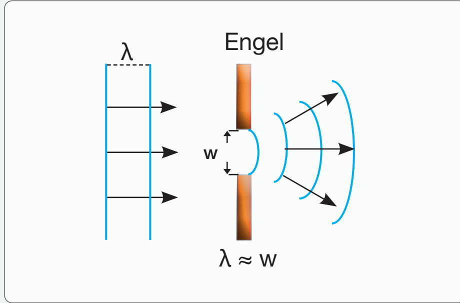
I. Derinlik dalgakıranın her iki tarafında eşit olduğundan kırınıma uğrayan dalgaların dalga boyları değişmemiştir. Bu ifade yanlıştır.

II. Kırınım gerçekleştiğine göre engel aralığı, su dalgalarının dalga boyundan küçüktür. Bu ifade doğrudur.

III. Derinlik sabit olduğundan su dalgaları, dar aralıktan geçtikten sonra sabit süratle ilerlemeye devam eder. Bu ifade yanlıştır.

Tüm bunlar göz önüne alındığında cevabın yalnız II olduğu görülür.

SORU 2



Sabit derinlikli bir dalga leğeninde doğrusal dalga kaynağının ürettiği λ dalga boylu su dalgaları, yarık genişliği w olan bir aralıktan geçerek şekildeki gibi yoluna devam etmektedir.

λ ≈ w olduğuna göre

I. w'nın küçültülmesi,

II. dalga kaynağının frekansının artırılması,

III. leğene bir miktar su eklenmesi

işlemlerinin ayrı ayrı yapılmasının kırınım desenini nasıl etkileyeceğini açıklayarak oluşacak dalga desenlerini çiziniz.

ÇÖZÜM

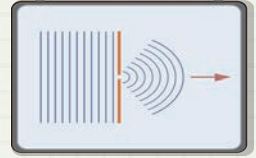
I. Kırınım olayının gözlemlenme şartı $\lambda \geq w$ olduğundan yarık genişliğinin (w) küçültülmesi durumunda kırınım deseni netleşir.



II. Kaynağın frekansının artırılması $\vartheta = \lambda \cdot f$ eşitliğine göre dalga boyunu azaltır. Dalga boyunun azalması sonucunda $\lambda < w$ olacağından kırınım olayı gözlemlenmez. Dalgalar, doğrusal olarak yoluna devam eder.



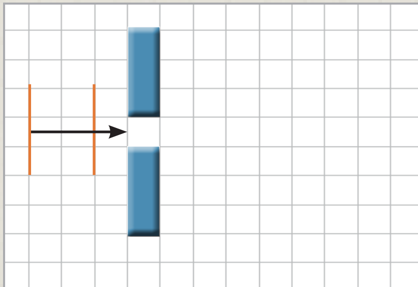
III. Su dalgalarının hızı ortama bağlıdır. Leğene su eklenmesi durumunda su derinliği ve dalgaların hızı artar. $\vartheta = \lambda \cdot f$ eşitliğine göre su dalgalarının dalga boyu da artar. Bu durumda kırınım olayı net bir şekilde gözlemlenir.

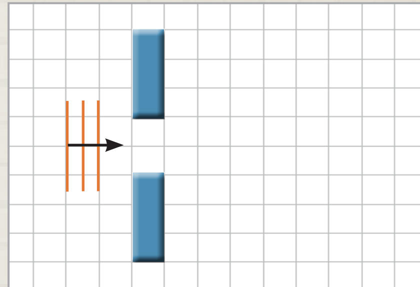


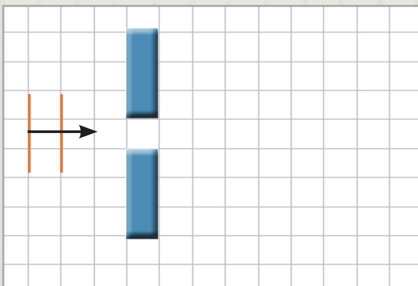
UYGULAMA » 1

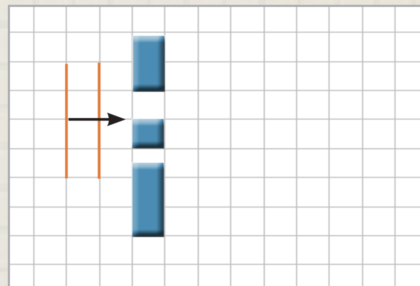
Su derinlikleri sabit dalga leğenlerinde oluşturulan doğrusal su dalgaları ve engel aralıkları kareli kâğıtta aşağıdaki şekilde modellenmiştir.

Doğrusal su dalgalarının engellerden geçtikten sonraki durumlarını şekil üzerine çiziniz.









3.1.2. Su Dalgalarında Girişim Olayı

Durgun bir su birikintisi üzerine düşen yağmur damlaları veya durgun suda yüzen ördekler (Görsel 3.3), dairesel su dalgaları oluşturur. Dairesel su dalgaları yayılırken dalga tepeleri ve dalga çukurları birbirini takip eder.

Birbirine yeterince yakın en az iki dalga kaynağının ürettiği dairesel su dalgalarının su yüzeyinde karşılaşarak birbirinin içinden geçmesi olayına **girişim** denir. Girişim yapan dalgaların oluşturduğu desene ise **girişim deseni** adı verilir (Görsel 3.4).



Görsel 3.3: *Durgun suda yüzen ördeklerin oluşturduğu dairesel su dalgaları*



Görsel 3.4: *Noktasal iki kaynaktan yayılan dairesel su dalgalarının oluşturduğu girişim deseni*

Su dalgalarında girişim olayını gözlemlemek için okulunuzun imkânlarını göz önünde bulundurarak "Su Dalgalarında Girişim" deneyini veya simülasyonunu yapınız.

DENEY 1

Deneyin Adı	Su Dalgalarında Girişim	**Süre:** 30 dk.
Deneyin Amacı	Su dalgalarında girişim olayını ifade edebilme.	
Araç Gereç	Dalga leğeni takımı, iki noktasal dalga kaynağı, güç kaynağı.	

Yönerge: Aşağıda verilen uygulama aşamalarını takip ederek "Su Dalgalarında Girişim" deneyini gerçekleştiriniz. Deneyi gerçekleştirdikten sonra "Deneyin Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruyu cevaplayınız.

⚠ **Deneyde kullanılan elektrikli aletler yüksek voltaja sahiptir. Bu aletleri kullanırken dikkatli olunuz.**

Deneyin Uygulama Aşamaları

1. Deney leğeni takımını şekildeki gibi masa üzerine kurunuz.
2. Derinliği yaklaşık 2 cm olacak şekilde dalga leğenini su ile doldurunuz.
3. İki noktasal dalga kaynağını güç kaynağına bağlayınız.
4. Aynı fazlı (suya aynı anda temas eden) iki noktasal dalga kaynağını çalıştırarak dairesel su dalgaları elde ediniz.
5. Dalga leğeninin altındaki beyaz masada gözlemlenen girişim desenini yanda verilen boş alana çiziniz.

Deneyin Değerlendirmesi

Su dalgalarının oluşturduğu girişim deseninde simetrik bir yapı gözlemlediniz mi? Açıklayınız.



SİMÜLASYON 2

Süre 20 dk.

Simülasyonun Adı	Su Dalgalarında Girişim
Simülasyonun Amacı	Su dalgalarında girişim desenini çizebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız ve uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Giriş sayfasında yer alan "Girişim" bölümünü aktif hâle getiriniz.
2. Ekranın sol tarafındaki iki noktasal su dalgası kaynağının üzerinde bulunan yeşil butonlara basarak kaynakları çalıştırınız. Ekranda oluşan girişim desenini inceleyiniz.
3. Ekranın sağ kısmında yer alan menüden kaynaklar arası uzaklığı artırıp azaltarak girişim deseninde meydana gelen değişimi gözlemleyiniz.
4. Ekranın sağ kısmında yer alan menüden frekans değerini artırıp azaltarak girişim deseninde meydana gelen değişimi gözlemleyiniz.

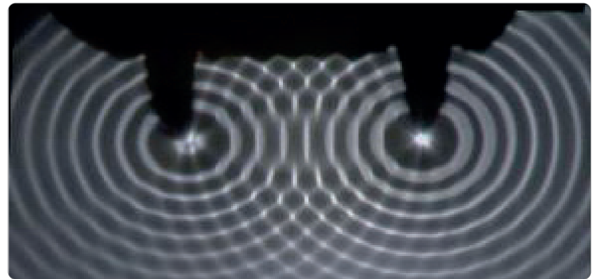
Simülasyonun Değerlendirmesi

1. Kaynaklar arası uzaklığı artırıp azalttığınızda girişim deseninde nasıl bir değişim gözlemlediniz? Açıklayınız.

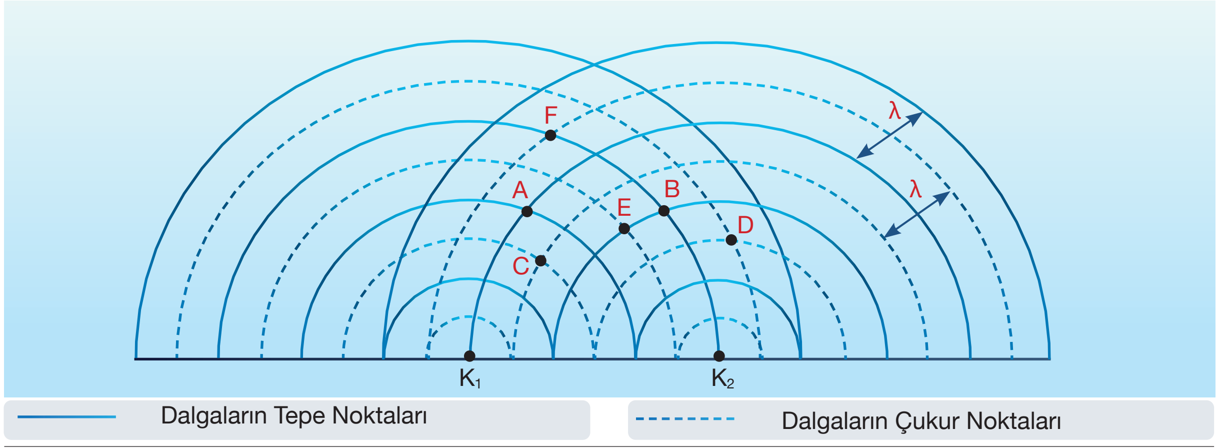
2. Frekans değerini artırıp azaltarak girişim deseninde nasıl bir değişim gözlemlediniz? Açıklayınız.

3. Gözlemlediğiniz girişim desenini çiziniz.

Bir ortamda aynı anda (eşit frekanslı) dalgalar üretmeye başlayan kaynaklara **aynı fazda çalışan kaynaklar** denir. Bir dalga leğeninde aynı fazda çalışan iki noktasal dalga kaynağının oluşturduğu girişim deseni Görsel 3.5'teki gibidir.



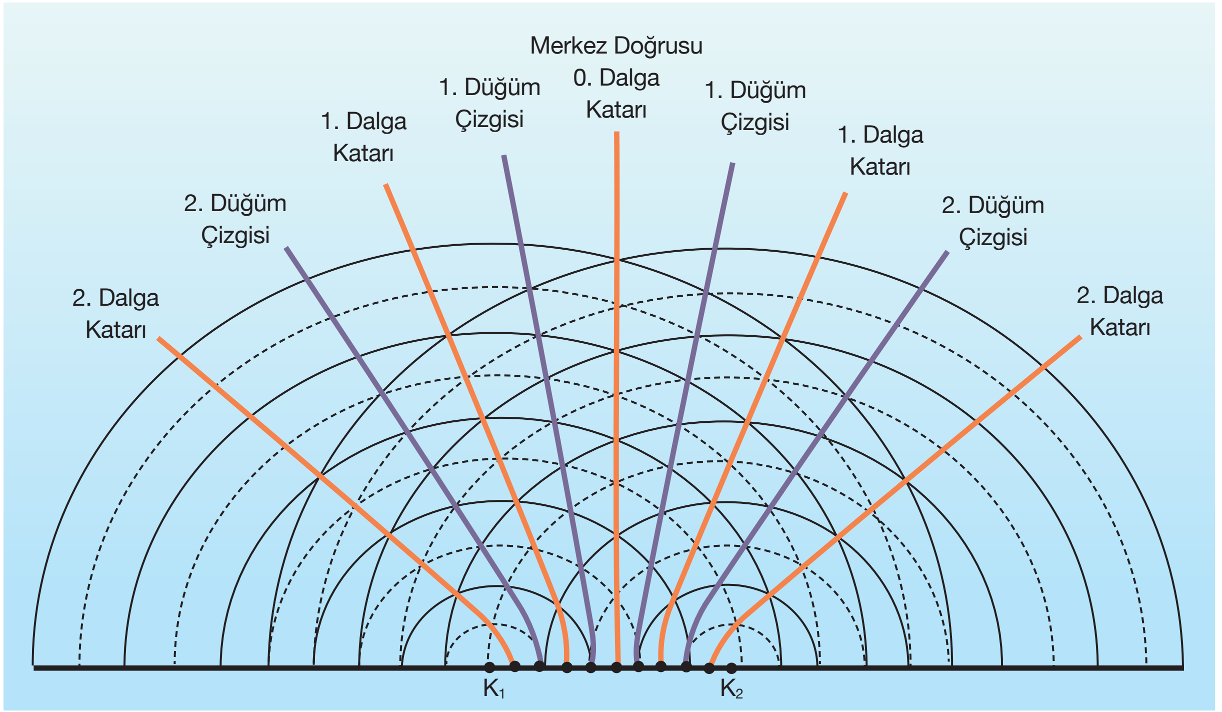
Görsel 3.5: *Bir dalga leğeninde aynı fazlı iki noktasal kaynak tarafından oluşturulan girişim deseninin üstten görünümü*



***Şekil 3.3:** Girişim deseni üzerindeki çift tepe, çift çukur ve düğüm noktaları*

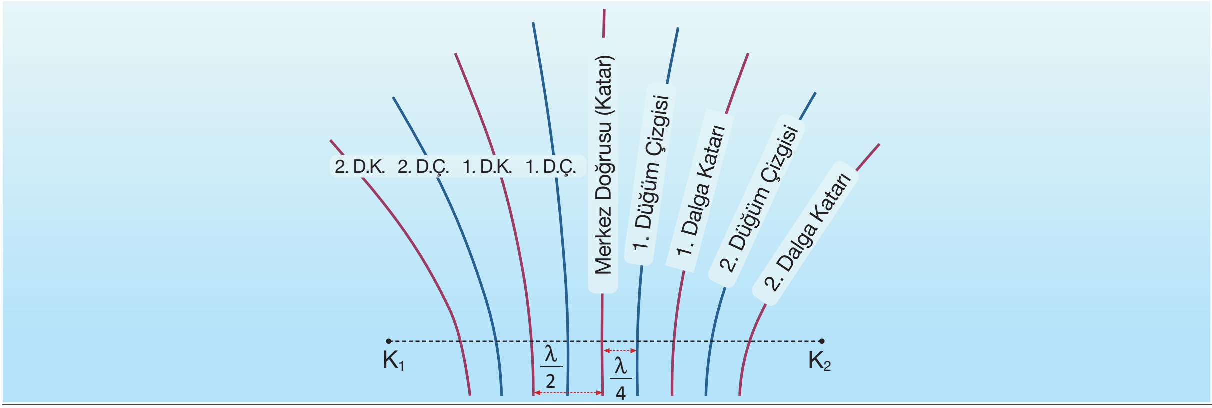
Aynı fazda çalışan özdeş iki noktasal kaynak tarafından oluşturulan dairesel su dalgaları, birbirinin içinden geçerken dalga tepelerinin üst üste gelerek birbirini güçlendirmesi sonucunda **çift tepeler**; çukur noktaların üst üste gelerek birbirini güçlendirmesi sonucunda ise **çift çukurlar** oluşur. Bu noktaların oluşumu sırasında genlik en büyük değerine ulaşır. Şekil 3.3'teki A ve B noktaları çift tepe, C ve D noktaları ise çift çukur noktalarıdır.

Bir kaynağın ürettiği dalga tepesi ile diğer kaynağın ürettiği dalga çukuru üst üste gelerek bir an için birbirini sönümler. Bu sırada genlik en küçük değerini alır. Girişim desenindeki minimum genlikli bu noktalar **düğüm noktası** olarak adlandırılır. Şekil 3.3'teki E ve F noktaları düğüm noktalarıdır.



***Şekil 3.4:** Su dalgalarının girişim deseninde gözlemlenen katar ve düğüm çizgileri*

Sabit derinlikli bir dalga leğeninde oluşan girişim deseninde (Şekil 3.4) gözlemlenen çift tepe ve çift çukur noktalarının birleştirilmesiyle elde edilen çizgilere **dalga katarı** denir. Kaynakların tam ortasından geçen ve girişim desenini ortadan iki eşit parçaya bölen merkez doğrusu **0. dalga katarı** olarak adlandırılır. Girişim deseninde düğüm noktalarının birleştirilmesiyle oluşan çizgilere ise **düğüm çizgisi** denir.

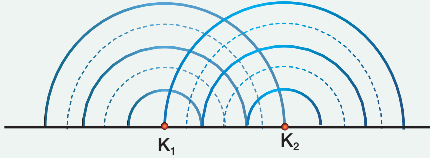


Şekil 3.5: Ardışık dalga katarı ve düğüm çizgileri

Bir girişim deseninde gözlemlenen girişim çizgilerinin özellikleri şu şekildedir:

- Merkez doğrusuna göre simetriktir.
- Merkez doğrusuna uzaklıklarına göre sırayla numaralandırılır.
- Kaynakların üzerinde veya dışında gözlemlenmez.
- Kaynakları birleştiren K_1-K_2 doğrultusu üzerinde ardışık iki dalga katarı ya da iki düğüm çizgisi arasındaki mesafe, oluşturulan dalgaların dalga boyunun yarısı kadardır.
- Şekil 3.5'te görüldüğü gibi K_1-K_2 doğrultusu üzerinde ardışık bir dalga katarı ile bir düğüm çizgisi arası mesafe, oluşturulan dalgaların dalga boyunun dörtte biri kadardır.
- Kaynaklar arasında girişim deseni oluşabilmesi için kaynaklar arası uzaklığın, dalgaların dalga boyunun yarısından büyük olması gerekir.

SORU 3

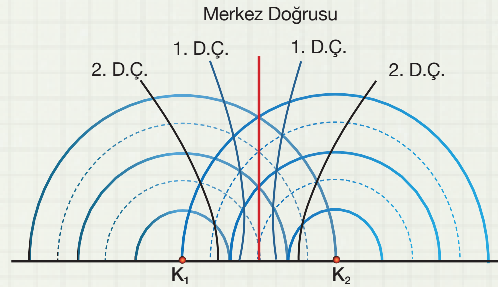


Aynı anda titreşen özdeş noktasal K_1 ve K_2 kaynaklarının ürettiği λ dalga boylu su dalgalarının oluşturduğu girişim deseni şekilde verilmiştir.

Bu desen üzerinde oluşan 2. düğüm çizgilerini çizerek aralarındaki uzaklığı λ cinsinden hesaplayınız.

(Düz çizgiler dalga tepelerini, kesikli çizgiler dalga çukurlarını göstermektedir.)

ÇÖZÜM



Ardışık iki düğüm çizgisi arası yatay uzaklık λ/2 olduğundan merkez doğrusunun sağında ve solunda yer alan ikinci düğüm çizgileri arası uzaklık 3λ/2 olacaktır.

UYGULAMA » 2

Su derinliği her yerinde aynı olan bir dalga leğeninde, özdeş iki noktasal kaynak aynı fazda çalıştırılarak girişim deseni elde ediliyor.

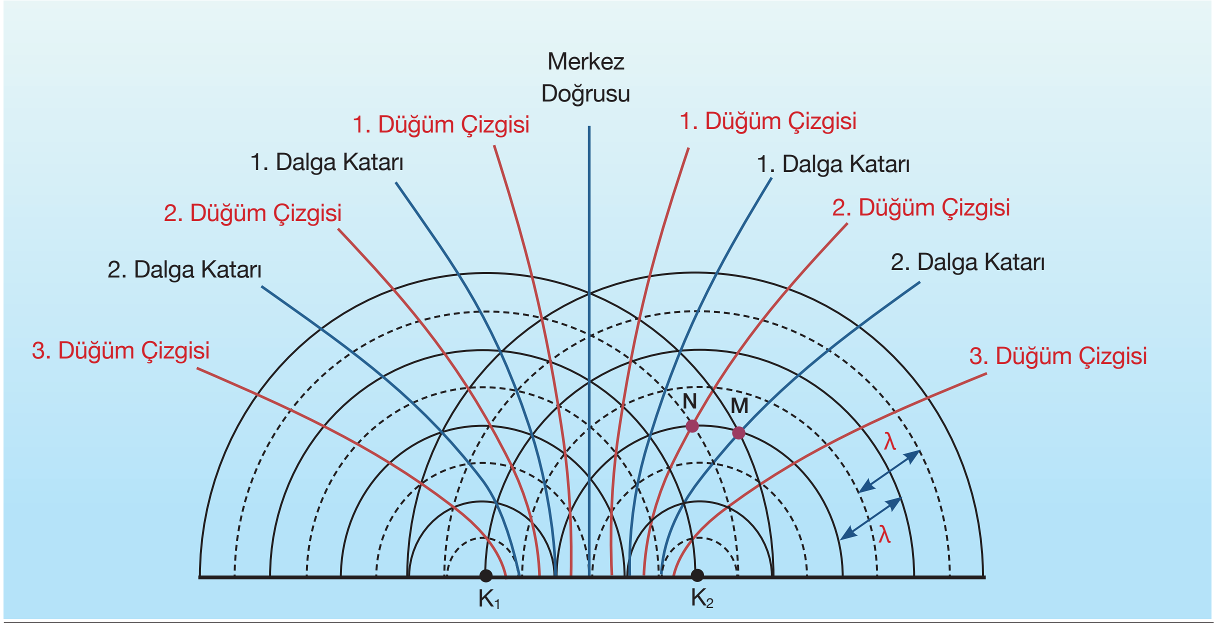
Buna göre

I. su derinliğini artırma,

II. kaynakları birbirine yaklaştırma,

III. kaynakların frekansını artırma

işlemlerinden hangilerinin tek başına yapılması girişim desenindeki düğüm çizgilerinin sayısını azaltabilir? Açıklayınız.



***Şekil 3.6:** Girişim deseni üzerinde oluşan dalga tepesi ve dalga çukuru*

Şekil 3.6'da gösterildiği gibi M noktasının K_1 kaynağına olan uzaklığı 4λ, K_2 kaynağına olan uzaklığı ise 2λ'dır ve M noktası 2. dalga katarı üzerindedir. Bu noktadan hareketle "Girişim deseni üzerinde seçilen bir noktanın kaynaklara olan uzaklıkları arasındaki fark, dalga boyunun tam katı ise o nokta bir katar çizgisi üzerindedir." sonucuna ulaşılabilir.

N noktasının K_1 kaynağına uzaklığı 3,5λ, K_2 kaynağına uzaklığı 2λ'dır. Bu noktanın kaynaklara olan uzaklıkları farkı 1,5λ'dır ve bu nokta 2. düğüm çizgisi üzerindedir. Bu noktadan hareketle "Girişim deseni üzerinde seçilen bir noktanın kaynaklara olan uzaklıkları arasındaki fark, dalga boyunun buçuklu katı ise o nokta bir düğüm çizgisi üzerindedir." sonucuna ulaşılabilir.

SORU 4

Su derinliği her yerinde aynı olan bir dalga leğeninde, λ dalga boylu dalgalar üreten özdeş iki noktasal kaynak aynı fazda çalıştırılarak girişim deseni oluşturuluyor.

Buna göre

I. kaynaklar arası uzaklığı artırmak,

II. kaynakların frekansını artırmak,

III. dalga leğenine su eklemek

işlemlerinden hangilerinin tek başına yapılması durumunda 2. dalga katarının oluştuğu yerde 2. düğüm çizgisi oluşabilir?

ÇÖZÜM

2. dalga katarının bulunduğu yerde 2. düğüm çizgisinin oluşabilmesi için su dalgalarının dalga boyunun artırılması gerekir.

I. Kaynaklar arası uzaklığın artırılmasının dalga boyuna bir etkisi olmayacağından düğüm çizgilerinin ya da dalga katarlarının yeri değişmez.

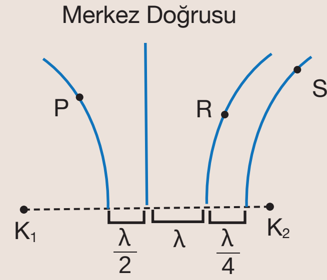
II. Kaynakların frekansının artırılması dalga boyunu azaltır. Bu da 2. dalga katarı yerine kendisinden sonraki çizgilerden birinin (3. düğüm, 3. dalga katarı gibi) gelmesine neden olabilir.

III. Dalga leğenine su eklenmesi derinliği ve dalgaların hızını artırır. Dalgaların hızının artması, dalga boyunu artırır. Bu durumda ardışık düğüm çizgileri ve dalga katarları arası uzaklık artar. 2. dalga katarının yerini 2. düğüm çizgisi alabilir.

Bundan dolayı cevap yalnız III olur.

UYGULAMA » 3

Su derinliğinin her yerinde aynı olduğu bir dalga leğeninde, λ dalga boylu dalgalar üreten özdeş iki noktasal kaynak aynı fazda çalıştırılarak şekildeki gibi bir girişim deseni elde ediliyor.



Girişim deseni üzerinde seçilen P, R ve S noktaları için

I. P noktası 1. düğüm çizgisi üzerindedir.

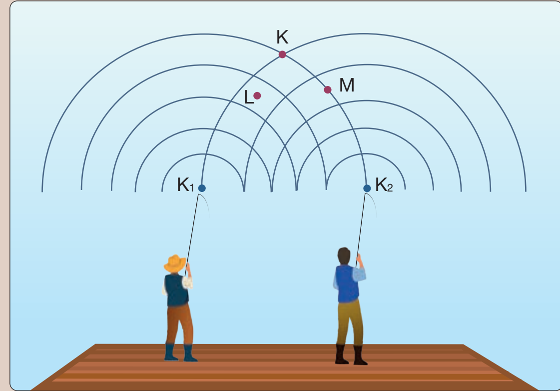
II. P ve R noktaları maksimum genlikte titreşen noktalardır.

III. S noktası 3. düğüm çizgisi üzerindedir.

ifadelerinden hangileri doğrudur? Açıklayınız.

UYGULAMA » 4

İki balıkçı, balık tutmak üzere iskeleden durgun suya oltalarını aynı anda atıyor. Olta şamandıralarının periyodik olarak suya girip çıkmasıyla meydana gelen çembersel dalgalar, şekildeki gibi bir girişim deseni oluşturuyor.



Oluşan girişim deseninde sadece tepeler gösterildiğine ve kaynakların bulunduğu noktalarda tepeler oluştuğuna göre

I. K noktasının genliği maksimumdur.

II. L noktası çift çukurdur.

III. M noktasının bulunduğu yerde yapıcı girişim gerçekleşmiştir.

ifadelerinden hangileri doğrudur? Açıklayınız.

3.1.3. Işığın Çift Yarıkta Girişimine Etki Eden Değişkenler

Mekanik dalga özelliği gösteren su dalgalarının yapıcı ve yıkıcı girişim olmak üzere girişim deseni oluşturduğu üzerinde daha önce durulmuştu. Mekanik dalga özelliği göstermeyen ışık, dalga özelliği ile yapıcı (aydınlık) ve yıkıcı (karanlık) olmak üzere girişim deseni oluşturmaktadır. Işığın çift yarıkta girişimine etki eden değişkenler aşağıdaki simülasyonda görülebilir.

SİMÜLASYON 3	Süre	20 dk.

Simülasyonun Adı	Çift Yarıkta Girişim
Simülasyonun Amacı	Işığın çift yarıkta girişimine etki eden değişkenlere bağlı olarak girişim desenini çizebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız ve aşağıda verilen uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



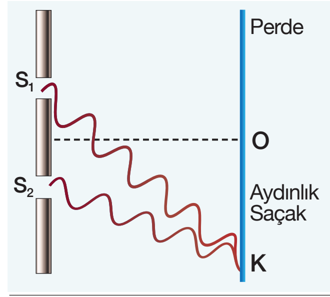
Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Simülasyonda yarıklar arası uzaklığı 5 000 nm olarak belirleyip 700 nm dalga boyuna denk gelen kırmızı ışığı seçiniz. Girişim desenini boş bırakılan kısma çiziniz.
2. Simülasyonda yarıklar arası uzaklığı 5 000 nm olarak belirleyip 500 nm dalga boyuna denk gelen yeşil ışığı seçiniz. Girişim desenini boş bırakılan kısma çiziniz.
3. Simülasyonda dalga boyunu 750 nm olarak belirleyip yarıklar arası mesafeyi 2 000 nm seçiniz. Girişim desenini boş bırakılan kısma çiziniz.
4. Simülasyonda dalga boyunu 750 nm olarak belirleyip yarıklar arası mesafeyi 4 000 nm seçiniz. Girişim desenini boş bırakılan kısma çiziniz.

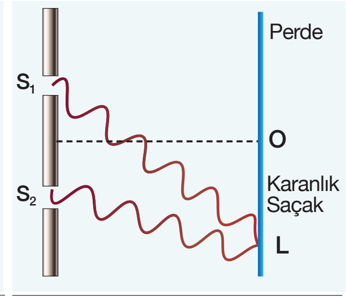
Simülasyonun Değerlendirmesi

1. **Dalga boyunun değişmesi girişim deseninde nasıl bir etkiye yol açmıştır? Aydınlık saçaklar arası mesafe ile dalga boyu arasında nasıl bir ilişki vardır? Gerekçeleriyle yazınız.**
2. **Yarıklar arası mesafenin değişmesi, girişim deseninde nasıl bir etkiye yol açmıştır? Yarıklar arası mesafenin saçaklar arası uzaklığa etkisi nedir? Gerekçeleriyle yazınız.**
3. **Aydınlık saçakların genişliğinin her adımda birbirine eşit olması, çift yarıkta girişim deseni için bir genellemeye ulaşmanızı sağlar mı? Gerekçeleriyle yazınız.**

Işıkta girişim deneyi, tarihte ilk kez 1801 yılında Thomas Young (Tamıs Yang) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden deney, Young deneyi olarak da adlandırılmaktadır. Bu deneyde ışık, yarıklardan geçerek perdede bant şeklinde karanlık ve aydınlık saçaklar meydana getirir. Çift yarıkta girişim deneyinde yarıklar, birer ışık kaynağı gibi davranarak perde üzerinde girişim deseni oluşturur. Işık dalgalarının tepe noktaları üst üste bindiğinde aydınlık saçak, ışık dalgaları birbirini söndürdüğünde karanlık saçak oluşmaktadır (Şekil 3.7: a ve b).



Şekil 3.7: a) *Dalgaların tepe noktalarının üst üste binmesi sonucu K noktasında oluşan aydınlık saçak*



Şekil 3.7: b) *Dalgaların birbirini söndürmesi sonucu L noktasında oluşan karanlık saçak*

Işığın çift yarıkta girişimi sonucunda perdede Şekil 3.8'de gösterildiği gibi bir desen oluşur. Gösterilen desenin O noktası, merkezî aydınlık saçağın orta noktasıdır. O noktasının sağında ve solunda simetrik olarak eşit genişlikte aydınlık ve karanlık saçaklar (bantlar) meydana gelir. Girişim deseninde komşu iki aydınlık ya da karanlık saçağın orta noktalarını birleştiren çizgiler arasındaki uzaklığa **saçak aralığı** denir ve bu uzaklık Δx ile ifade edilir. Çift yarıkta girişim deseninde merkezî aydınlık saçağın genişliği, aydınlık saçakların genişliğine eşittir.

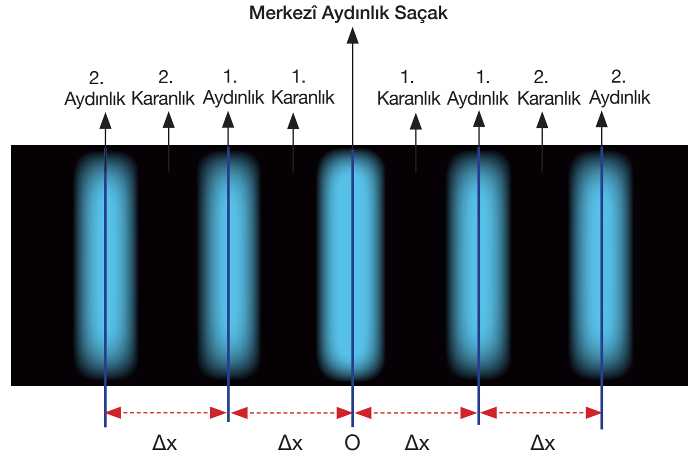
Saçak aralığının girişim deseninde önemli bir yeri vardır. Saçak aralığının büyük veya küçük olması, belirlenen bir mesafedeki saçak sayısını ve girişim desenini değiştirebilir. Saçak aralığı; ışığın rengine dolayısıyla dalga boyuna (λ), yarıklar arası mesafeye (d), yarıklar düzlemi ile perde arasındaki uzaklığa (L), perde ile yarıklar düzlemi arasındaki ortamın kırıcılık indisine (n) bağlı olarak değişir. Bu durumda saçak aralığı şu şekilde ifade edilebilir:

$$\Delta x = \frac{\lambda \cdot L}{d \cdot n}$$

Bu bağıntıdan şu sonuçlara ulaşılabilir:

1. λ veya L niceliklerinin artması saçak aralığını büyütür.

2. d veya n niceliklerinin artması saçak aralığını küçültür.

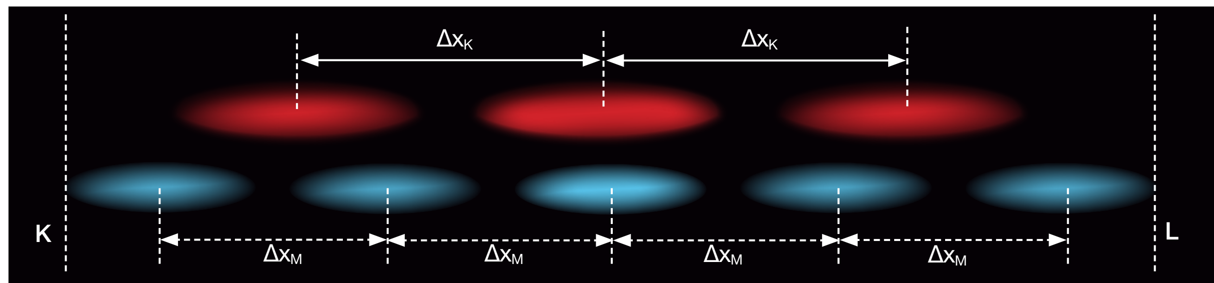


Şekil 3.8: *Mavi ışığın çift yarıkta girişimi sonucunda oluşan desen*

Işık şiddeti aydınlık saçakların parlaklığını değiştirebilir fakat saçak aralığını değiştirmez.

Dalga Boyunun Saçak Aralığına Etkisi

Diğer değişkenlerin sabit tutulması şartıyla kırmızı ve mavi ışıkla yapılan çift yarıkta girişim deneyinde Şekil 3.9'da modellenen desen elde edilmiştir. Bu desendeki saçak aralığının farklı olmasının sebebi, ışıkların dalga boyunun farklı olmasıdır. Kırmızı ışığın dalga boyu, mavi ışığa göre daha büyüktür. Bu durumda kırmızı ışıkta saçak aralığı daha büyük olur ($\Delta x_{kırmızı} > \Delta x_{mavi}$). Saçak aralığı büyüdüğünde belirlenen bir mesafede oluşan aydınlık saçakların sayısı azalır. K-L aralığında mavi ışıkla oluşan aydınlık saçak sayısının daha fazla olduğuna dikkat ediniz.



Şekil 3.9: *Kırmızı ve mavi ışığın çift yarıkta oluşturduğu girişim desenleri*

SORU 5

Yeşil renkli ışıkla yapılan çift yarıkta girişim deneyinde perdede belirlenen bir bölümde aydınlık saçaklar oluşmaktadır.

Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmemek koşuluyla deneyde kırmızı renkli ışık kullanılırsa saçak sayısı ve saçak aralığı (Δx) için ne söylenebilir?

ÇÖZÜM

$\Delta x = \dfrac{\lambda \cdot L}{d \cdot n}$ bağıntısına göre Δx saçak aralığı, eşitlikteki değişkenlere bağlı olarak artacak veya azalacaktır.

Deneyde kırmızı renkli ışık kullanıldığında λ dalga boyu artacağı için Δx artar. Saçaklar arası uzaklık arttığında perdede oluşan saçak sayısında artış beklenmez. Bu durumda saçak sayısı, değişmeyebilir veya azalabilir.

SORU 6

Hava ortamında tek renkli ışıkla iki kez çift yarıkta girişim deneyi gerçekleştiriliyor. İkinci deneyde ilkinden farklı olarak sadece yarıklar arası mesafe azaltılıyor. Deneylerde oluşan saçak aralıklarının farklı olduğu gözlemleniyor.

Her iki girişim deseninde saçak aralıklarının aynı olabilmesi için ikinci deneyde

I. ışığın şiddetinin değiştirilmesi,

II. dalga boyu daha düşük bir ışığın kullanılması,

III. yarıklar düzleminin perdeden uzaklaştırılması

işlemlerinden hangileri yapılmalıdır?

ÇÖZÜM

İkinci deneyde yarıklar arası mesafenin azalması, saçak aralığını büyütür. Girişim desenlerinin aynı kalabilmesi için ikinci deneyde saçak aralığını küçültmek gerekir. Buna göre

I. Işığın şiddetini değiştirmek, sadece aydınlık saçakların daha parlak veya daha sönük olmasına neden olur fakat saçak aralığını değiştirmez. Bu nedenle bu işlem uygun değildir.

II. Dalga boyu daha düşük bir ışık kullanmak, saçak aralığını küçülteceğinden bu işlem uygundur.

III. Yarıklar düzleminin perdeden uzaklaştırılması, saçak aralığının büyümesine neden olacağından bu işlem uygun değildir.

Bu yüzden cevap yalnız II olur.

UYGULAMA » 5

Çift yarıkta ışığın girişimi deneyinde yarıklar düzlemi üzerine mavi ve yeşil renkli ışınlar aynı anda gönderiliyor.

Buna göre perde üzerinde hangi renkler elde edilebilir? Gerekçeleriyle açıklayınız.

- ☐ Mavi
- ☐ Cyan
- ☐ Magenta
- ☐ Siyah

Girişim Deseninde Merkezî Aydınlık Saçağın Yerini ve Saçak Aralığını Etkileyen Faktörler

Çift yarıkta girişim deneyinde ışık kaynağı yarıkların tam ortasına gelecek şekilde sabitlendiği için ışık kaynağından çıkan ışınlar yarıklara aynı anda ulaşır. Bu yüzden merkezî aydınlık saçak desenin tam ortasında, diğer saçaklar ise simetrik olarak merkezî aydınlık saçağın iki yanında oluşur.

1. Işık kaynağı yukarı veya aşağı hareket ettirilirse ışık kaynağından çıkan ışınlar, yarıklara aynı anda ulaşamaz. Işık kaynağı +y yönünde hareket ettirildiğinde merkezî aydınlık saçak (A_0) ortada oluşmaz ve Şekil 3.10'da gösterildiği gibi -y yönüne doğru kayar. Diğer saçaklar yine merkezî aydınlık saçağın (A_0') her iki yanına simetrik olarak dizilir. Saçak aralıklarında herhangi bir değişim gözlemlenmez.

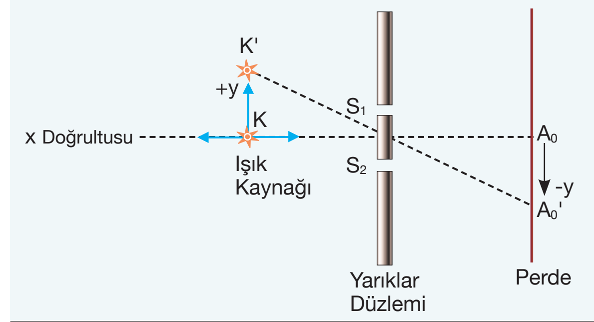
2. Işık kaynağının Şekil 3.10'daki gibi x doğrultusunda yatay olarak sağa veya sola hareket etmesi sadece desenin parlaklığını etkiler. Işık kaynağı yarıklar düzlemine yaklaştıkça desenin parlaklığı artar. Merkezî aydınlık saçağın yeri ve saçak aralığı bu durumdan etkilenmez.

3. Yarıklardan birinin önüne saydam bir engel koyulduğunğunda perdede ulaşacağı noktaya daha geç varır. Işınlar hangi yarıktan daha geç çıkarsa merkezî aydınlık saçak o tarafa doğru kayar. Örneğin Şekil 3.11'de olduğu gibi S_1'in önüne saydam cam levha koyulduğunda merkezî aydınlık saçak S_1'in olduğu tarafa yani +y yönüne doğru kayar. Saçak aralığında herhangi bir değişim gözlemlenmez.

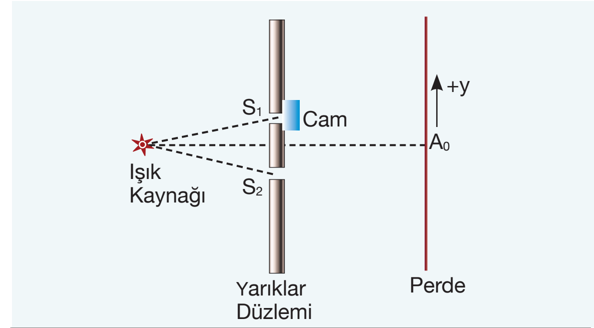
4. Yarıklar düzlemi, Şekil 3.12'deki gibi ok yönünde küçük bir açıyla döndürüldüğünde yarıklar arası düşey uzaklık azalır (d > d'). Saçak aralığını veren Δx bağıntısına göre saçak aralığı büyür. Merkezî aydınlık saçak, geciken kaynaktan (yarıklar bir ışık kaynağı gibi düşünülürse) tarafa kayar. Gecikme yoksa merkezî aydınlık saçak yerinde kalır.

5. Yarıklar arasındaki mesafe (d) artırıldığında Δx bağıntısına göre saçak aralığı küçülür. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez.

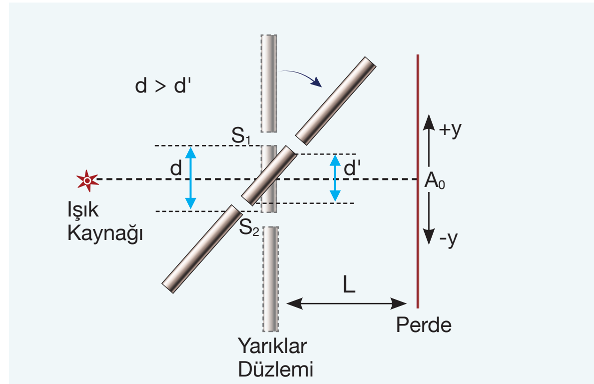
6. Yarıklar düzlemi ile perdenin arasına, kırıcılık indisi (n) havaya göre daha büyük bir ortam yerleştirilirse Δx bağıntısına göre saçak aralığı küçülür. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez.



Şekil 3.10: Işık kaynağının +y yönünde ve x doğrultusundaki hareketi



Şekil 3.11: Yarıklardan birinin önüne cam koyulduğunda merkezî aydınlık saçağın kayma yönü



Şekil 3.12: Yarıklar düzleminin ok yönünde döndürülmesi

7. Yarıklar düzlemi ile perdenin arasındaki uzaklık (L) artırıldığında Δx bağıntısına göre saçak aralığı büyür. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez.

8. Kullanılan ışık kaynağının dalga boyu (λ) büyürse Δx bağıntısına göre saçak aralığı da büyür. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez.

SORU 7

Hava ortamında yapılan çift yarıkta girişim deneyinde perdede aydınlık ve karanlık saçaklar oluşmaktadır.

Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmemek koşuluyla aşağıda verilenlerden biri tek başına yapıldığında saçak sayısı ve saçak aralığı için ne söylenebilir? (Perdenin genişliği sabittir.)

I. Yarıklar arası mesafeyi artırmak

II. Yarıklar düzlemi ile perde arasındaki mesafeyi artırmak

III. Ortamın kırıcılık indisini artırmak

ÇÖZÜM

$\Delta x = \dfrac{\lambda \cdot L}{d \cdot n}$ eşitliğine göre Δx saçak aralığı, eşitlikteki değişkenlere bağlı olarak artacak veya azalacaktır.

I. Deneyde yarıklar arası mesafe artırılırsa bağıntıya göre Δx azalır. Saçak aralığı azaldığında perdedeki saçak sayısında artış beklenebilir. Bu durumda aydınlık saçak sayısında azalma olmayacağı kesinleşir.

II. Deneyde yarıklar düzlemi ile perdenin arasındaki mesafe artırılırsa bağıntıya göre Δx artar. Bu durumda aydınlık saçak sayısı artmaz. Azalma veya aynı kalma koşulu gerçekleşebilir.

III. Deneyde ortamın kırıcılık indisi artırıldığında Δx azalır. Saçak aralığı azalırsa perdedeki saçak sayısında artış beklenebilir. Bu durumda aydınlık saçak sayısında azalma olmayacağı kesinleşir.

UYGULAMA » 6

Kırmızı ve yeşil lazerle hava ortamında çift yarıkta girişim deneyi yapılıyor. Desenler incelenirken merkezî aydınlık saçağın yerinin aynı olduğu, kırmızı ve yeşil lazerle yapılan deneylerde saçak aralığının değişmediği görülüyor.

Aynı ortamda yapılan bu deneyde ölçüm veya insan kaynaklı herhangi bir hata olmadığına göre değişkenler açısından bu durumu açıklayınız.

UYGULAMA » 7

Hava ortamında şekilde gösterilen ışığın çift yarıkta girişimi deneyi yapılıyor.

Bu deneyde aşağıdaki işlemlerden biri tek başına uygulandığında merkezî aydınlık saçağın yeri için ne söylenebilir? Gerekçeleriyle yazınız.

I. Işık kaynağının 1 yönünde hareket ettirilmesi

II. Işık kaynağının 2 yönünde hareket ettirilmesi

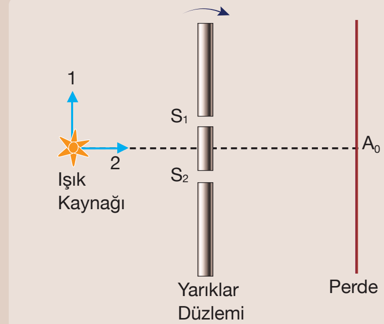
III. S_2 yarığının önüne saydam madde koyulması

IV. Yarıklar düzlemi ile perde arasının suyla doldurulması

V. Işık kaynağı ile yarıklar düzlemi arasının suyla doldurulması

VI. Yarıklar düzleminin ok yönünde bir miktar döndürülmesi

(Suyun kırıcılık indisi, havanın kırıcılık indisinden daha büyüktür.)



3.1.4. Işığın Tek Yarıkta Kırınımına Etki Eden Değişkenler

Çift yarıkta girişim deneyinde yarıklar, birer ışık kaynağı gibi davranarak perde üzerinde girişim deseni oluşturmaktadır. Aynı deney, tek yarıkla yapıldığında yarığın her noktası ışık kaynağı gibi davranmakta ve ışık dalgaları kırınıma uğramaktadır. Işığın tek yarıkta kırınımına etki eden değişkenleri belirlemek için aşağıdaki deneyi yapınız.



DENEY 2

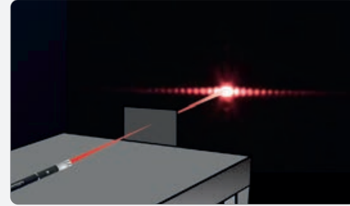
Deneyin Adı	Tek Yarıkta Kırınım	**Süre:** 30 dk.
Deneyin Amacı	Işığın tek yarıkta kırınımına etki eden değişkenlere bağlı olarak kırınım desenini çizebilme.	
Araç Gereç	2 adet siyah karton (10 cm x 10 cm), kırmızı renkli ışık veren lazer, yeşil renkli ışık veren lazer, maket bıçağı, masa, fotoğraf çekebilen cihaz.	

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek deneyi gerçekleştiriniz. Deneyi tamamladıktan sonra “Deneyin Değerlendirmesi” bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Lazer ışığına doğrudan bakılmamalıdır. Lazer ışığına doğrudan bakılması göz retinasında kalıcı hasarlar oluşturabilir.

Deneyin Uygulama Aşamaları



1. Maket bıçağı ile siyah kartonlardan birinin tam ortasına 2 cm, diğerinin tam ortasına 3 cm genişliğinde birer yarık (kesik) açınız. Işığın yarıklardan geçeceğini unutmayınız.
2. Kartonlar, deney esnasında masanın ucuna görseldeki gibi sabitlenmelidir.
3. Ortamın karanlık olmasını sağlayınız.
4. Kırmızı renkte ışık veren lazeri, 2 cm’lik yarığın tam ortasına denk gelecek şekilde ve kartondan yaklaşık 8 cm uzaklıkta sabitleyip çalıştırınız.
5. Duvarda oluşan kırınım deseninin fotoğrafını çekerek deseni boş bırakılan alana çiziniz.
6. Kırmızı renkli lazerin yerine yeşil renkli lazeri yerleştirip çalıştırınız.
7. Duvarda oluşan kırınım deseninin fotoğrafını çekerek deseni boş bırakılan alana çiziniz.
8. 2 cm yarık bulunan kartonu 3 cm yarık bulunan karton ile değiştiriniz.
9. Kırmızı renkte ışık veren lazeri, 3 cm’lik yarığın tam ortasına denk gelecek şekilde ve kartondan yaklaşık 8 cm uzaklıkta sabitleyip çalıştırınız.
10. Duvarda oluşan kırınım deseninin fotoğrafını çekerek deseni boş bırakılan alana çiziniz.
11. Masayı duvara yaklaştırınız.
12. Kırmızı renkte ışık veren lazeri, 3 cm’lik yarığın tam ortasına denk gelecek şekilde ve kartondan yaklaşık 8 cm uzaklıkta sabitleyip çalıştırınız.
13. Duvarda oluşan kırınım deseninin fotoğrafını çekerek deseni boş bırakılan alana çiziniz.

Deneyin Değerlendirmesi

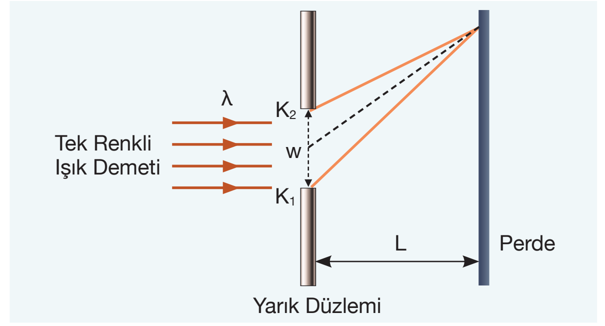
1. Kırmızı ve yeşil renkli lazer ışığının dalga boyu farklıdır. Dalga boyunun değişmesi kırınım deseninde nasıl bir etkiye yol açtı? Dalga boyu ile saçak aralığı arasında bir ilişki bulabildiniz mi? Açıklayınız.

2. Yarık genişliğinin değişmesi, kırınım deseninde nasıl bir etkiye yol açtı? Yarık genişliği ile saçak aralığı arasında bir ilişki bulabildiniz mi? Açıklayınız.

3. Yarık bulunan kartonun beyaz kâğıda yaklaştırılması kırınım deseninde nasıl bir etkiye yol açtı? Kartonun beyaz kâğıda yaklaştırılması ile aydınlık saçakların aralıkları nasıl değişti? Açıklayınız.

4. Tek yarıktaki kırınım desenleri ile çift yarıktaki girişim desenleri karşılaştırıldığında en belirgin fark sizce ne oldu? Açıklayınız.

Işık dalgaları da su ve ses dalgaları gibi dar bir aralıktan geçerken kırınıma uğrar ve bükülür. Işık dalgalarının buna ek olarak bir kenardan veya bir köşeden geçerken büküldüğü de görülür. Şekil 3.13'te ışığın yarıktan geçtikten sonra bir noktada toplanması gösterilmektedir.



Şekil 3.13: Işığın tek yarıkta kırınımı



SİMÜLASYON 4 | Süre | 15 dk.

Simülasyonun Adı	Tek Yarıkta Işığın Kırınımı
Simülasyonun Amacı	Dalga boyu ile yarık genişliğinin saçak aralığına etkisini açıklayabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruyu cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız.
2. Simülasyonda dalga boyunu ve yarık genişliğini değiştirerek kırınım desenini inceleyiniz.

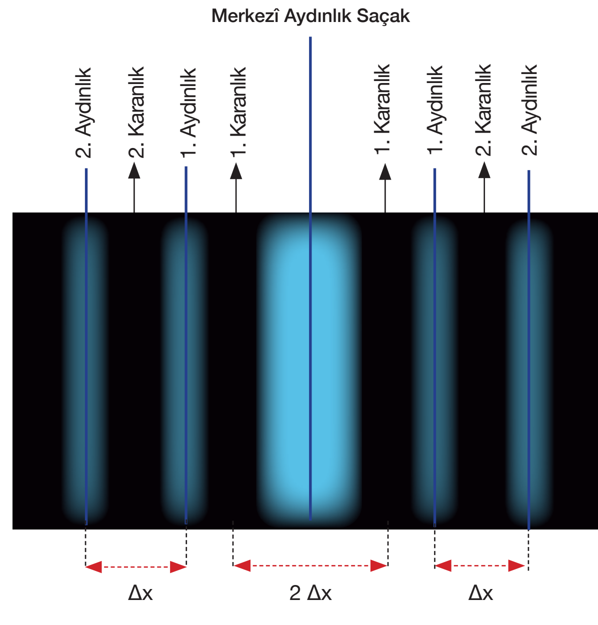
Simülasyonun Değerlendirmesi

Simülasyondaki değişkenlerin kırınım desenine etkisini yorumlayınız.

Perdede oluşan aydınlık ve karanlık saçakların büyütülmüş hâli Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Verilen desenin O noktası, merkezî aydınlık saçağın orta noktasıdır. O noktasının sağında ve solunda simetrik olarak aydınlık ve karanlık saçaklar (bantlar) oluşur. Kırınım deseninde merkezî aydınlık saçağın dışındaki komşu iki aydınlık ya da iki karanlık saçağın orta noktalarını birleştiren çizgiler, çift yarıkta olduğu gibi **saçak aralığı** olarak adlandırılır ve Δx sembolüyle gösterilir. Tek yarıkta oluşan kırınım deseninde merkezî aydınlık saçağın genişliği, aydınlık saçakların genişliğine eşit değildir. Merkezî aydınlık saçağın genişliği diğer saçak genişliklerinin iki katıdır.

Saçak aralığı; ışığın rengine dolayısıyla ışığın dalga boyuna (λ), yarık genişliğine (w), yarık düzlemi ile perde arasındaki uzaklığa (L) ve perde ile yarık düzlemi arasındaki ortamın kırıcılık indisine (n) bağlı olarak değişir. Saçak aralığı şu eşitlik ile ifade edilir:

$$\Delta x = \frac{\lambda \cdot L}{w \cdot n}$$



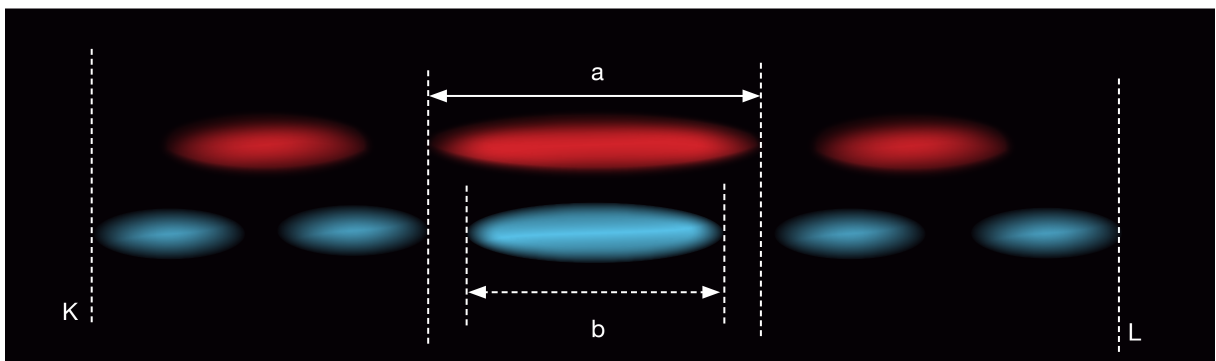
Şekil 3.14: Mavi ışığın tek yarıkta kırınımı sonucu oluşan desen

Bu eşitlikten hareketle şu sonuçlara ulaşılabilir:

1. λ veya L niceliklerinin artması saçak aralığını büyütür.
2. w veya n niceliklerinin artması saçak aralığını küçültür.

Dalga Boyunun Saçak Aralığına Etkisi

Diğer değişkenlerin sabit tutulması şartıyla kırmızı ve mavi ışıkla yapılan tek yarıkta kırınım deneyi sonucunda Şekil 3.15'te modellenen desen elde edilmiştir. Mavi ve kırmızı ışığın dalga boyu farklı olduğu için desendeki saçak aralıkları da farklı olmuştur. Kırmızı ışığın dalga boyu, mavi ışığa göre daha büyüktür. Bu durumda kırmızı ışıkta oluşan saçak aralığı (Δx) daha büyük olur. Merkezdeki aydınlık saçak genişliğinin her iki durumda da diğer saçakların genişliğinden daha büyük olduğu görülür.

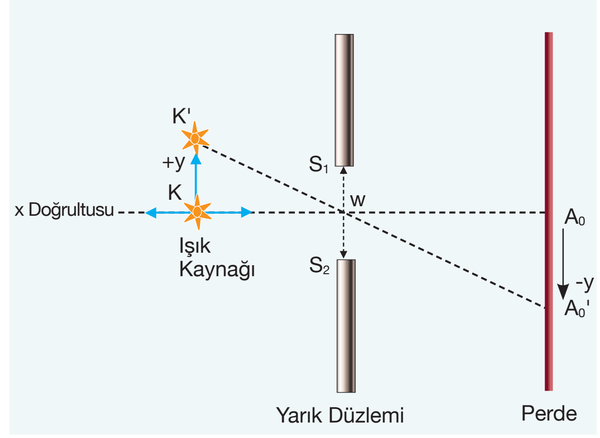


Şekil 3.15: Kırmızı ve mavi ışığın tek yarıkta oluşturduğu kırınım deseni

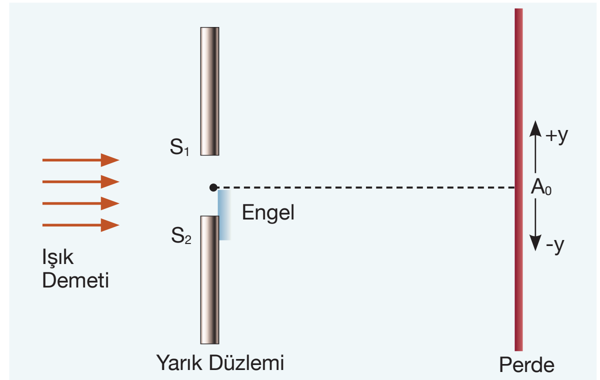
Kırınım Deseninde Merkezî Aydınlık Saçağın Yerini ve Saçak Aralığını Etkileyen Faktörler

Tek yarıkta kırınım deneyinde ışık kaynağı, yarığın tam ortasına gelecek şekilde sabitlendiği için ışık kaynağından çıkan ışınlar, yarık kenarlarına aynı anda ulaşır. Merkezî aydınlık saçak, desenin tam ortasında yer alır. Diğer saçaklar ise simetrik olarak merkezî aydınlık saçağın her iki yanına dizilir.

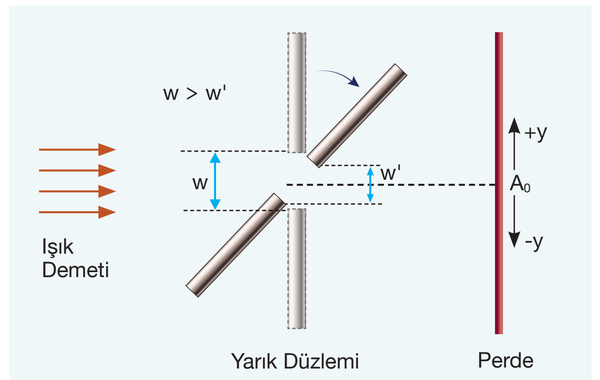
1. Işık kaynağı, yukarı veya aşağı hareket ettirildiğinde ışık kaynağından çıkan ışınlar, yarık kenarlarına aynı anda ulaşamaz. Işınlar, yarığın hangi kenarına geç gelirse perdede ulaşacağı noktaya da geç varır. Bu nedenle merkezî aydınlık saçak o tarafa doğru kayar. Örneğin ışık kaynağı +y yönünde hareket ettirilirse merkezî aydınlık saçak (A_0) ortada değil, Şekil 3.16'da gösterildiği gibi -y yönünde oluşur. Diğer saçaklar yine merkezî aydınlık saçağın (A_0') her iki yanına simetrik olarak dizilir. Saçak aralıklarında herhangi bir değişim gözlemlenmez.
2. Işık kaynağının Şekil 3.16'daki gibi x doğrultusunda yatay olarak sağa veya sola hareket ettirilmesi sadece desenin parlaklığını etkiler. Işık kaynağı yarıklar düzlemine yaklaştıkça desenin parlaklığı artar. Merkezî aydınlık saçağın yeri ve saçak aralığı bu durumdan etkilenmez.
3. Şekil 3.17'de görüldüğü gibi yarığın bir kısmını kapatacak şekilde koyulan engel saydam ise bu engel, ışığın hızının azalmasına neden olur. Bu nedenle ışık, perdede ulaşacağı noktaya daha geç varır. Işınlar, yarığın hangi kenarından daha geç çıkarsa merkezî aydınlık saçak o tarafa doğru kayar. Bu durumda merkezî aydınlık saçak -y yönünde kayar. Saçak aralığında herhangi bir değişim gözlemlenmez. Eğer engel saydam değilse ışık, engelden geçemediği için merkezî aydınlık saçak +y yönünde kayar. Yarık genişliği azalacağı için saçak aralığı artacaktır.
4. Yarık düzlemi, Şekil 3.18'deki gibi ok yönünde küçük bir açıyla döndürüldüğünde yarıklar arasındaki düşey uzaklık azalır ($w > w'$). Saçak aralığını veren Δx bağıntısına göre saçak aralığı büyür. Merkezî aydınlık saçak, geciken kaynak (yarıklar bir ışık kaynağı gibi düşünülürse) tarafına doğru kayar. Gecikme yoksa merkezî aydınlık saçak yerinde kalır.
5. Yarık genişliği (w) artırıldığında Δx bağıntısına göre saçak aralığı küçülür. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez.
6. Yarık düzlemi ile perde arasına kırıcılık indisi (n) havadan daha büyük bir ortam yerleştirilirse Δx bağıntısına göre saçak aralığı küçülür. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez.
7. Yarık düzlemi ile perde arasındaki uzaklık (L) artırıldığında Δx bağıntısına göre saçak aralığı büyür. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez.
8. Kullanılan ışık kaynağının dalga boyu (λ) büyürse Δx bağıntısına göre saçak aralığı da büyür. Merkezî aydınlık saçağın yeri değişmez.



Şekil 3.16: Işık kaynağının +y yönünde ve x doğrultusundaki hareketi



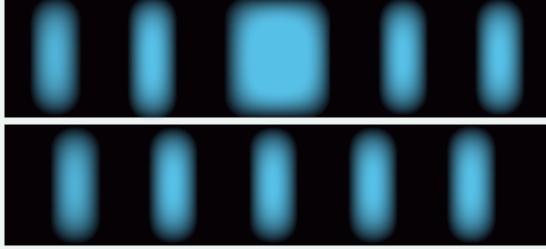
Şekil 3.17: Yarığın alt kısmına saydam engel koyulduğunda merkezî aydınlık saçağın kayma yönü



Şekil 3.18: Yarık düzleminin ok yönünde döndürülmesi

SORU 8

Mavi renkli ışık kaynağı ile çift yarıkta girişim ve tek yarıkta kırınım deneyi gerçekleştiriliyor. Deneyde perde ile yarıklar düzlemi arası uzaklık sabitleniyor, yarık genişliği ile yarıklar arası mesafe eşitleniyor.



Yukarıda verilen desenlerden hareketle hangi sonuçlara ulaşılabilir? Açıklayınız.

ÇÖZÜM

$\Delta x = \dfrac{\lambda \cdot L}{w \cdot n}$ (Tek yarıkta ışığın kırınımında oluşan saçak aralığı)

$\Delta x = \dfrac{\lambda \cdot L}{d \cdot n}$ (Çift yarıkta ışığın girişiminde oluşan saçak aralığı)

Soruda dalga boyu (λ), yarık ile yarıklar düzleminin perdeye uzaklığı (L), ortamın kırıcılık indisi (n), yarıklar arası uzaklık (d) ile yarığın genişliğinin (w) aynı olduğu belirtilmektedir. Desenler incelendiğinde iki desendeki saçak aralıklarının aynı, merkezî aydınlık saçak genişliğinin farklı olduğu görülmektedir. Desenler birbirine benzese de tek yarıkta kırınım deneyinde merkezî aydınlık saçağın genişliği, diğer saçaklara göre daha büyük olur. Buradan hareketle üstteki desenin tek yarıkta kırınıma, alttaki desenin çift yarıkta girişime ait olduğu sonucuna ulaşılır.

SORU 9

Hava ortamında yapılan ışığın tek yarıkta kırınımı deneyinde tek renkli ışık kullanılmış ve yarık düzlemine paralel yerleştirilen perde üzerindeki bir noktada 2. karanlık saçak oluşmuştur.

Buna göre

I. ışığın rengini değiştirme,

II. yarık genişliğini azaltma,

III. ışık kaynağı ile yarık düzleminin arasını su ile doldurma

işlemlerinden hangileri tek başına yapılırsa aynı noktada 2. aydınlık saçak oluşabilir?

ÇÖZÜM

2. karanlık saçağın oluştuğu noktada 2. aydınlık saçağın oluşabilmesi için saçak aralıklarının küçülmesi gerekir.

I. Işığın renginin değişmesi, dalga boyunun değişmesine sebep olur. Işığın dalga boyu küçülürse saçak aralığı da küçülür. Bu işlemin yapılması durumunda aynı noktada 2. aydınlık saçak oluşabilir.

II. Yarık genişliğinin azalması, saçak aralıklarını artırır. Bundan dolayı bu işlemin yapılması aynı noktada 2. aydınlık saçağın oluşmasını sağlayamaz.

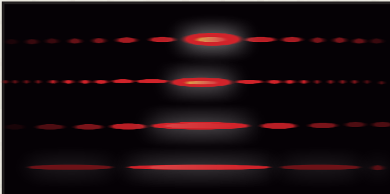
III. Işık kaynağı ile yarık düzleminin arasını su ile doldurmak, saçak aralığında bir değişiklik meydana getirmez. Çünkü ışık kaynağından çıkan ışınların perdeye ulaşma süresi değişmez. Bundan dolayı bu işlemin yapılması, aynı noktada 2. aydınlık saçağın oluşmasını sağlayamaz.

Cevap yalnız I olur.

UYGULAMA » 8

Hava ortamında kırmızı renkli lazerle yapılan ışığın tek yarıkta kırınımı deneyi bazı değişiklikler ile tekrar edilmiş ve deney sonunda görseldeki farklı girişim desenleri oluşmuştur.

Görselde verilen desenleri yukarıdan aşağıya doğru inceleyiniz. Desenlerdeki değişikliğin nedenlerini yarık genişliği ve perdenin yarık düzlemine olan uzaklığı açısından değerlendiriniz?



1. Yarık Genişliği	2. Perdenin Yarık Düzlemine Uzaklığı

UYGULAMA » 9

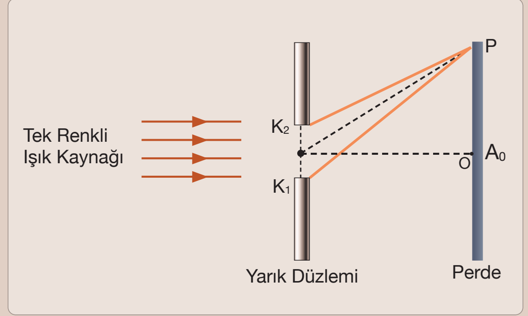
Hava ortamında şekildeki gibi tek yarıkta kırınım deneyi gerçekleştirilmiştir.

Kırınım deseninin O noktasında bulunan merkezî aydınlık saçağın yerini değiştirmek için

I. yarığın alt yarısına saydam levha koyma,
II. ışığın şiddetini artırma,
III. yarık genişliğini azaltma,
IV. yarık düzlemi ile perdenin arasını su ile doldurma

işlemlerinden hangileri yapılabilir?

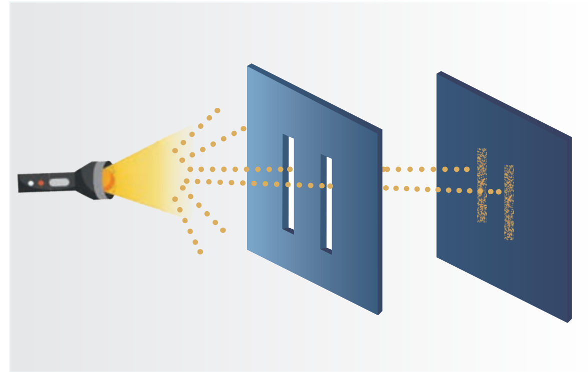
(Suyun kırıcılık indisi, havanın kırıcılık indisinden daha büyüktür.)



3.1.5. Işığın Dalga Doğası

Çift yarıkta girişim deneyinde, perdede Şekil 3.19: a'da görüldüğü gibi sadece iki aydınlık alan oluşsaydı ışığın dalga doğası hakkında yorum yapılamazdı. Ancak perdede ikiden fazla aydınlık saçak oluşması, ışığın dalgalar hâlinde yayıldığını göstermektedir (Şekil 3.19: b). Işığın dalgalar hâlinde yayıldığı fikrini bilim dünyasına sunan ilk bilim insanı Christiaan Huygens'tir (Krisçın Haygins).

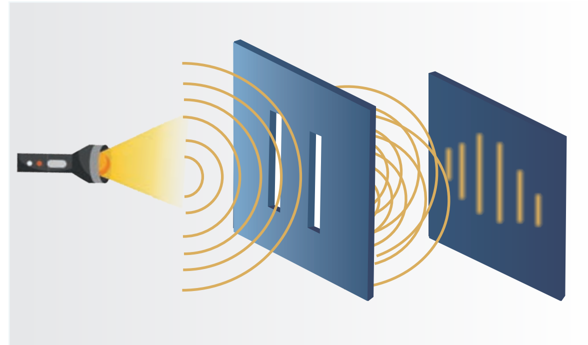
Işığın bir kenardan veya köşeden geçerken bükülmesi, ışığın dalgalar hâlinde yayıldığı düşüncesini desteklemektedir. Buna ek olarak iki ışığın birbirini yok edip zeminde karanlık saçaklar oluşturması ancak ışığın dalga doğası ile açıklanabilir. Işığın üst üste gelerek yüzeylerde renklenmelere sebep olması da ışığın dalgalar hâlinde yayıldığını göstermektedir. Görsel 3.6'da CD yüzeyinden yansıyan ışınların girişimi sonucunda CD yüzeyinin renklenmesi görülmektedir.



***Şekil 3.19: a)** Çift yarıkta girişim deneyinde ışık tanecik gibi davransaydı oluşabilecek desen*



***Görsel 3.6:** CD yüzeyinde ışığın girişimi*



***Şekil 3.19: b)** Çift yarıkta girişim deneyinde ışık dalga gibi davrandığı için oluşan desen*

UYGULAMA » 10



1. Güneş ışığına karşı çekilen fotoğraflarda (ters ışık) görselde verildiği gibi bir durumla karşılaşılmaktadır. Bu tür fotoğraflarda görseldeki insanların yüzü net olarak görülememektedir.
   Işığın doğası düşünüldüğünde bu durumun sebebini nasıl açıklarsınız?
2. Karanlık bir ortamda yakın bir mesafeden elinize ışık tutunuz. Elinizin duvardaki gölgesini dikkatle inceleyiniz.
   Gölgenin kenarlarının buğulu görünmesi ışığın kırınıma uğradığını gösterir mi? Açıklayınız.

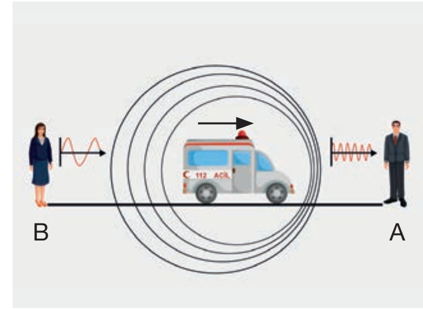
ARAŞTIRMA

X ışınları deriden girip kemiklerde kırınıma uğrar mı? Bir röntgen filmini inceleyerek bu konuyu araştırınız. Ulaştığınız bilgileri sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

3.1.6. Doppler Olayı

Kaynak ve gözlemci arasındaki uzaklığın değişmesi sonucunda sabit frekanslı bir dalga kaynağından salınan dalgaların, gözlemlenen frekans ve dalga boyundaki değişimlere **Doppler etkisi** veya **Doppler olayı** denir. Kaynak ile gözlemci arasındaki bağıl hızın sıfırdan farklı olduğu durumlarda kaynak ile gözlemci arasındaki uzaklık değişir. Şekil 3.20'de gösterilen sesteki Doppler olayı şöyle açıklanır:

- Ambulans, A gözlemcisine yaklaştığında gözlemcinin algıladığı sesin frekansı artar. Yüksek frekanslı sesler, tiz ses olup incedir. Bu durumda A gözlemcisi, ambulans kendine yaklaştıkça siren sesini giderek daha ince duymaya başlar.
- Ambulans, B gözlemcisinden uzaklaştığında gözlemcinin algıladığı sesin frekansı azalır. Düşük frekanslı sesler, pes ses olup kalındır. Bu durumda B gözlemcisi, ambulans kendinden uzaklaştıkça siren sesini daha kalın duymaya başlar.



Şekil 3.20: A gözlemcisinin ince, B gözlemcisinin kalın algıladığı siren sesi

Ses dalgalarının Doppler etkisi tıpta ve denizcilikte kullanılır. Ultrason cihazları ile dokuya veya organa gönderilen sesin frekansındaki farklılık sayesinde görüntüler elde edilir. Sesteki frekans farklılığı, sonar cihazları ile tespit edilir. Sonar cihazları; deniz altının haritalanması, deniz altındaki nesnelerin deniz yüzeyine olan uzaklıklarının ölçülmesi vb. alanlarda kullanılır.

ARAŞTIRMA

Sınıfta üç gruba ayrılınız. Grup arkadaşlarınızla aşağıda verilen konulardan birini seçip o konuyu araştırınız. Elde etiğiniz bilgiler ile bir sunum hazırlayınız ve akıllı tahtada sunum yapınız.

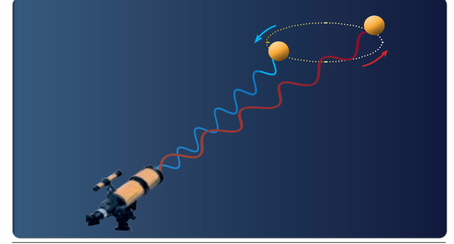
1. Balık avcılığında balık sürüsünün büyüklüğü, balık cinsi ve balıkların deniz altındaki konumları çok önemlidir. Balıkçılar bu bilgilere nasıl ulaşmaktadır?
2. Damarlardaki daralma ve tıkanmaların yol açtığı sorunları tespit etmek için kan akış hızını ölçmek gerekir. Doktorlar bu bilgiyi nasıl elde etmektedir?
3. Pilotlar, güvenlik nedeniyle türbülans veya yağışın yoğun olduğu bölgelerden kaçınacak şekilde uçuş rotasını belirler. Pilotlar bu bilgilere nasıl ulaşır?

Ses dalgalarının bir engelden yansıyarak kaynağa dönmesi ile radarların çalışma prensibi arasında benzerlik kurulabilir. Trafikte araçların hızını tespit etmek için yola kurulan radarlar (Görsel 3.7), Doppler etkisinden yararlanarak bir aracın konumu ve hızı hakkında bilgi verir. Radar cihazının arabaya gönderdiği elektromanyetik dalganın frekansı ile arabadan yansıyan ışının frekansı arasındaki algılanan fark, aracın hızını belirler.

Doppler olayı, astronomi biliminde de önemli bir yere sahiptir. Işık kaynağı olan yıldızların frekansı sabittir. Bununla birlikte Dünya'ya yaklaşan veya Dünya'dan uzaklaşan yıldızların yaydığı ışınların frekansı ve dalga boyu, Dünya'daki gözlemci tarafından Doppler olayı nedeniyle farklı algılanır. Görsel 3.8'de yıldızların hareketi sonucu oluşan ışıktaki renk değişimi gösterilmiştir. Dünya'ya yaklaşan yıldızların yaydığı ışınların algılanan dalga boyu azalır, frekansı artar. Bu yüzden ışınların Dünya'dan gözlemlenen rengi maviye doğru kayar. Dünya'dan uzaklaşan yıldızların yaydığı ışınların algılanan dalga boyu artar, frekansı azalır. Bu yüzden Dünya'dan gözlemlenen ışınların rengi kırmızıya doğru kayar.



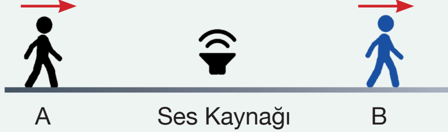
***Görsel 3.7:** Trafikte hız tespiti için kullanılan radar*



***Görsel 3.8:** Yıldızların hareketi ile gözlemlenen ışıktaki renk değişimi*

SORU 10

Ok yönünde hareket eden A ve B gözlemcisi ile hareketsiz, sabit frekansta ses üreten ses kaynağı şekildeki gibi düz bir zeminde aynı ortamda bulunmaktadır.



Buna göre

I. A gözlemcisi sesi daha ince algılar.
II. B gözlemcisi sesi daha kalın algılar.
III. A ve B gözlemcisinin algıladığı seslerin hızı aynıdır.
IV. A ve B gözlemcisine ulaşan sesin şiddeti aynıdır.

yargılarından hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

A gözlemcisi ses kaynağına yaklaştığı için sesin frekansını daha yüksek, B gözlemcisi ses kaynağından uzaklaştığı için sesin frekansını daha düşük algılar. Yüksek frekanslı sesler, düşük frekanslı seslere göre daha ince algılanır. Bu yüzden I ve II. yargı doğrudur.

Sesin havadaki hızı frekans ile ilgili değildir. Sesin hızı ortama bağlıdır. Ortam değişmediği sürece sesin hızı değişmez. Bu yüzden III. yargı doğrudur.

Sesin şiddeti ses kaynağının gözlemciye yaklaşmasıyla artar, uzaklaşmasıyla azalır. Bu durumda gözlemcilere ulaşan seslerin şiddetleri farklı olduğundan IV. yargı yanlıştır.

Cevap I, II ve III olur.

UYGULAMA » 11

Tabloda verilen olaylarda gözlemcinin algıladığı sesin frekansında değişim olup olmayacağını ve meydana gelebilecek değişimin hangi yönde olacağını bulunuz. Boş bırakılan kısımlara nedenini yazınız.

	Olay	Gözlemci	Algılanan Frekansın Nedeni
I.	Uyumakta olan Zeynep'in başka bir odada çalan alarmı kapatmaya gitmesi	Zeynep	
II.	Aralarındaki mesafeyi koruyacak bir hızla hareket eden iki araçtan arkadaki araç sürücüsünün kornaya uzun süre basması	Öndeki araç sürücüsü	
III.	Bir itfaiyecinin, sireni çalışan, hareketsiz bir itfaiye aracından uzaklaşması	İtfaiyeci	

3.2. ELEKTROMANYETİK DALGALAR



Anahtar Kavramlar

- Elektromanyetik Dalgalar
- Elektromanyetik Spektrum



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde elektromanyetik dalgaların ortak özellikleri ve elektromanyetik spektruma ait ışınların günlük hayattaki kullanım alanları verilecektir.



EVRENİN ANLAŞILMASINDA TELESKOPLARIN ROLÜ

Evren hakkında bilinenlerin büyük bir kısmı elektromanyetik dalgalar ve onu algılayan teknolojik aletler vasıtasıyla elde edilmiştir. Birkaç asır önce gökyüzüne bakanların görebildikleri, insan gözünün algılayabildiklerinden ibaretti. Dünya'ya kurulan teleskoplar, gök cisimlerden gelen zayıf görünür ışığı güçlendirerek görüntülerin büyütülmesini ve çıplak gözle fark edilemeyecek veriler elde edilmesini sağladı. Bununla birlikte gökyüzünde görülebilenler görünür ışığın sağladığıyla sınırlıydı. 19. yy.ın ikinci yarısından itibaren gök cisimlerinden yayılan ve Dünya'nın atmosferinden geçemeyen, insan gözünün algılayamadığı ışınların incelenmesiyle ilgili çalışmalar hız kazandı. Bu doğrultuda uzaya morötesi ışın teleskobu, X ışını teleskobu, gama ışını teleskobu vb. kuruldu.



Görünür bölge dışındaki ışınları yakalamak üzere uzaya kurulan teleskoplar sayesinde gök cisimleri hakkında birçok yeni bilgiye ulaşıldı. Güneş'in korona tabakasından ve yeni oluşmaya başlayan yıldızlardan morötesi ışınlar yayılıyordu. Morötesi ışın teleskopları, elde ettiği görüntülerle bu durumu tespit etti. Yengeç Bulutsusu'ndan yayılan X ışınları ve Güneş patlamaları, X ışını teleskopları ile görüntüye çevrildi. Güneş ve süpernova patlamalarından yayılan yüksek enerjili gama ışınları, gama ışını teleskopları ile yakalandı. Bu sayede çeşitli gök cisimleri hakkında çok önemli bilgiler elde edildi.



HAZIRLIK SORULARI

1. **Her elektromanyetik dalga atmosferden geçebilir mi?**

2. Güneş'ten gelen ışınlar, atmosferde kırılarak insan gözüne ulaştığı için Güneş'in rengi sarı veya turuncuya yakın bir renkte algılanır.
Sizce Uluslararası Uzay İstasyonu'ndan Güneş'e bakan bilim insanları Güneş'i hangi renkte görür?

3. Evlerde elektrik prizine takılan her cihaz, çevresinde bir manyetik alan oluşturur. İki arkadaştan biri dizüstü bilgisayarın, diğeri saç kurutma makinesinin karşısında eşit uzaklıkta durmaktadır.
Sizce iki kişiden hangisi daha çok manyetik alana maruz kalır? Elektronik aletlerden yayılan manyetik alanın etkilerini azaltmak için ne gibi tedbirler alınabilir?

3.2.1. Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri

Elektromanyetik dalgalar, günlük hayatın vazgeçilmez unsurlarından biri hâline gelmiştir. Cep telefonu, radyo, televizyon, kablosuz modem, mikrodalga fırın gibi birçok teknolojik ürün elektromanyetik dalgaları kullanır. Görsel 3.9'da verilen küresel ağ girişimi modeli incelendiğinde elektromanyetik dalgaların günlük hayatın merkezinde olduğu görülür.

Elektromanyetik dalgaların varlığını matematiksel olarak ispatlayan ve ışık dalgalarının elektromanyetik dalga olduğunu ortaya koyan James Clerk Maxwell'dir [Ceymis Kılark Maksvel (Görsel 3.10)]. Maxwell, zamanla değişen elektrik alanının çevresinde bir manyetik alan, zamanla değişen manyetik alanın çevresinde de bir elektrik alanı oluştuğunu ileri sürerek elektromanyetik dalgaların varlığına işaret etmiştir. Elektromanyetik dalgalardaki elektrik alanı ve manyetik alanın, elektromanyetik ışıma oluşturacak şekilde ışık hızıyla yayıldığını keşfetmiştir.

Maxwell, diğer bilim insanlarının çalışmalarından faydalanmış; kendisinden önce Gauss (Gaus) Yasası, Faraday (Feridey) Yasası ve Ampère (Amper) Yasası şeklinde birbirinden bağımsız olarak formüle edilen denklemleri birleştirerek bir teori hâline getirmiştir. 1864 yılında yayımlanan bu teori, **elektromanyetik teori** olarak adlandırılmıştır. Maxwell, elektromanyetik dalgaların varlığını matematiksel olarak ifade etmiş fakat deneysel olarak ispatlayamamıştır. Elektromanyetik dalgaların varlığını deneysel olarak kanıtlayan bilim insanı, Heinrich Rudolf Hertz (Haynrih Rudolf Hertz) olmuştur.

Duran bir yük, sadece elektrik alanı oluşturur fakat ivmelenen yük hem elektrik alanı hem de manyetik alan meydana getirir. Yüklü parçacıkların ivmeli hareket yapmaları sonucunda farklı düzlemlerde birbirine dik, değişken elektrik alanı ve manyetik alan ortaya çıkar. Elektrik alanı ve manyetik alan vektörleri, birbirine ve hareket doğrultularına dik olarak hareket eder (Şekil 3.21). Elektromanyetik dalgalar, boşlukta ışık hızı (c) ile hareket eder. Işık hızıyla ilerleyen elektromanyetik dalgalar, elektrik alanı (E) ve manyetik alan (B) büyüklüğü cinsinden şu şekilde ifade edilir:

$$E = B \cdot c$$

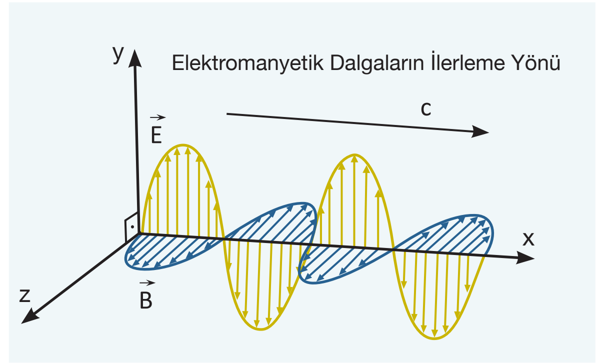
Elektromanyetik dalgaların ilerleme yönü sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elin başparmağı diğer dört parmağa dik olacak şekilde açıldığında dört parmak, elektrik alanını; avuç içi, manyetik alanı gösterecek şekilde tutulursa başparmak elektromanyetik dalgaların ilerleme yönünü gösterir (Şekil 3.22).



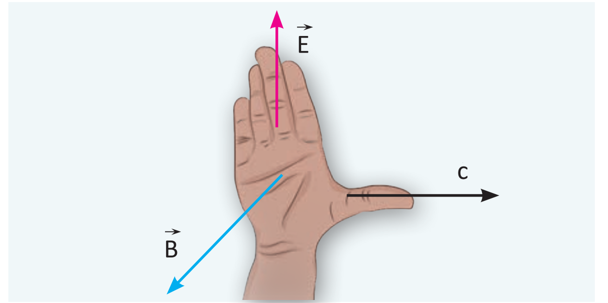
Görsel 3.9: *Küresel ağ girişimi modeli*



Görsel 3.10: *James Clerk Maxwell (temsilî)*



Şekil 3.21: *Elektrik ve manyetik alanın hareket hâlinde birbirine dik konumları*



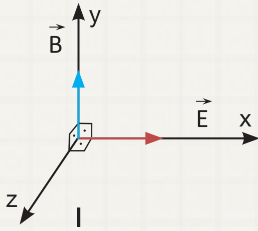
Şekil 3.22: *Sağ el kuralına göre elektromanyetik dalgaların ilerleme yönünün bulunması*

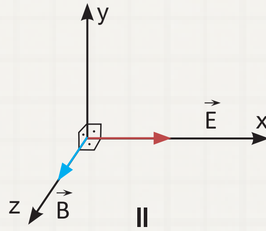
Elektromanyetik dalgaların ortak özellikleri genel olarak şu şekildedir:

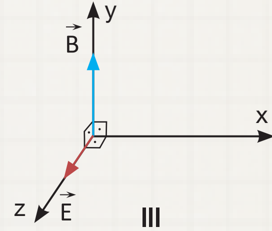
1. Yüklü cisimlerin ivmeli hareketlerinden meydana gelir. Sabit hızla hareket eden yükler, elektromanyetik dalga oluşturamaz.
2. Elektromanyetik dalgalar yüksüz olduğu için elektrik alanı ve manyetik alandan etkilenmez.
3. Enine dalgalardır. Bu dalgaları oluşturan elektrik alanı ve manyetik alan hem birbirine hem de yayılma doğrultusuna diktir.
4. Elektromanyetik dalgaların enerji ve momentumları frekanslarıyla doğru, dalga boylarıyla ters orantılıdır.
5. Tüm elektromanyetik dalgalar, bir doğru boyunca boşlukta ışık hızı (c) ile yayılır ve elektromanyetik dalgaların oranı (E/B) ışık hızına eşittir.
6. Hızları ortamın kırıcılık indisine (n) bağlı olarak değişir ($\vartheta = c/n$).
7. Yansıma, kırılma, girişim, kırınım gibi ışık olaylarını gerçekleştirir.
8. Kutuplanabilir.
9. Maddeler tarafından soğrulabilir.

UYGULAMA » 1

Elektrik alanı ve manyetik alan vektörlerinin verildiği aşağıdaki şekillerde elektromanyetik dalgaların ilerleme yönlerini bulunuz.







ARAŞTIRMA

Elektromanyetik dalgaların özelikleri ve James Clerk Maxwell'in çalışmaları hakkında araştırma yapınız. Araştırma sonucunda edindiğiniz bilgileri derleyerek sınıfta sununuz.

UYGULAMA » 2

Aşağıda elektromanyetik dalgalar hakkında verilen bilgiler doğru ise "Doğru", yanlış ise "Yanlış" kutucuğunu işaretleyiniz.

	ÖZELLİKLER	DOĞRU	YANLIŞ
1.	Manyetik alana dik olacak şekilde ilerler.		
2.	Elektriksel ortamda yön değiştirir.		
3.	Boşlukta hızları değişkendir.		
4.	Maddeler tarafından soğrulabileceği gibi yansıma da yapar.		
5.	Yayılmaları için maddesel ortama ihtiyaçları vardır.		
6.	Yüklü parçacıkların sabit hızda hareketi sonucu oluşur.		
7.	Enerjileri frekanslarıyla doğru orantılıdır.		
8.	Hava ve sıvı ortamındaki hızları aynıdır.		
9.	Enerji yüklüdür.		

UYGULAMA » 3

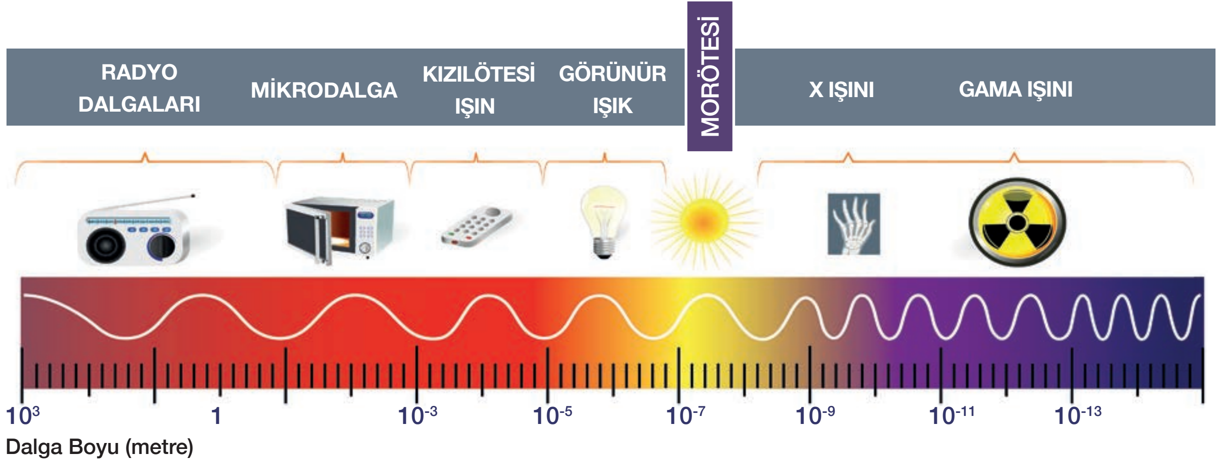
Boşlukta ilerleyen K, L, M, N ve P dalgalarına ait anlık elektrik alanı ve manyetik alan büyüklükleri tabloda verilmiştir. Tablodakilerden birinin elektromanyetik dalga olmadığı bilinmektedir.

Buna göre tabloda verilenlerden hangisi elektromanyetik dalga değildir?

	Elektrik Alanı	Manyetik Alan
K	E/2	B/4
L	E	B/2
M	E	B
N	2E	B
P	6E	3B

3.2.2. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum, farklı ışık dalgalarının dalga boyu veya frekanslarına göre sıralanmasıyla oluşur. Elektromanyetik spektrum, uzun dalga boyundan kısa dalga boyuna doğru sırasıyla radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık dalgaları, morötesi ışınlar, X ışınları ve gama ışınlarından oluşur (Şekil 3.23). Spektrumda sağ tarafa gidildikçe enerji ve frekans değerleri büyür, dalga boyu küçülür. Spektrumdaki dalgalar, frekans veya dalga boyu değeri olarak birbirinden keskin çizgiler ile ayrılmaz. Elektromanyetik dalgalar; iletişim, tıp, gıda endüstrisi, metalurji, sağlık, kimya, astronomi gibi birçok alanda kullanılır.



Şekil 3.23: *Elektromanyetik spektrum*

SORU 1

Boşlukta ilerleyen kızılötesi ve morötesi ışınlar için

I. hız,
II. frekans,
III. dalga boyu,
IV. enerji

niceliklerinden hangileri eşit büyüklüktedir?

ÇÖZÜM

Tüm elektromanyetik dalgaların hızı, ortama bağlı olarak değişir. Örneğin hava ortamından su ortamına geçen elektromanyetik dalgaların hızı, ortam yoğunluğu arttığı için azalır. Fakat boşlukta tüm elektromanyetik dalgalar ışık hızıyla yayılır.

Kızılötesi ve morötesi ışınların enerjileri farklıdır. Elektromanyetik dalgaların enerjisi, dalga boyuna ve frekansına bağlı olarak değişir.

Bu yüzden cevap yalnız I olur.

ETKİNLİK 1	Süre 30 dk.
Etkinliğin Adı	Elektromanyetik Spektrumu Oluşturan Dalgalar
Etkinliğin Amacı	Elektromanyetik dalgaların özelliklerini belirleyebilme.
Araç Gereç	Kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek elektromanyetik dalgalarla ilgili bir sunum hazırlayınız. Etkinliği tamamladıktan sonra "Etkinliğin Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.

Elektromanyetik spektrum; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık dalgaları, morötesi ışınlar, X ışınları ve gama ışınları olmak üzere toplamda yedi elektromanyetik dalgadan meydana gelir.

Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Sınıfta 7 grup oluşturunuz.
2. Grup arkadaşlarınızla elektromanyetik dalgalardan birini seçiniz. (Her grup farklı bir elektromanyetik dalga seçmelidir.)
3. Spektrumdan seçtiğiniz elektromanyetik dalganın bulunuş hikâyesini, oluşum şeklini, özelliklerini ve günlük hayatta kullanım alanlarını grup arkadaşlarınızla iş bölümü yaparak araştırınız.
4. Bilgileri dijital ortamda derleyiniz ve grup arkadaşlarınızla paylaşınız.
5. Araştırdığınız konuları dijital ortamda birleştiriniz.
6. Bilişim teknolojilerinden yararlanarak bir sunum hazırlayınız.
7. Sınıfta akıllı tahtada sunum yapınız.
8. Ulaştığınız verilerden hareketle bir poster hazırlayıp sınıf panosunda sergileyiniz.

Etkinliğin Değerlendirmesi

1. Araştırma sürecinde ne gibi zorluklarla karşılaştınız?

2. Zorlukları aşmak için hangi çözümleri geliştirdiniz?

Radyo Dalgaları

İnsan gözünün göremediği radyo dalgaları, elektromanyetik spektrumdaki en uzun dalga boylu ve en düşük enerjili elektromanyetik dalgadır. Vericiden yayılan dalgalar, alıcı tarafından toplanıp ses ve görüntüye dönüştürülür.

Haberleşme sistemlerinde, telsizlerde, radyo ve televizyonlarda radyo dalgalarından yararlanılır. Radyo teleskopları, gök cisimlerinden gelen radyo dalgalarını toplar ve gök cisimleri hakkında bilgi edinilmesine yardımcı olur. Radyo teleskopları, radyo dalgalarını algılayıp gökyüzü gözlemi yapan çanak anten şeklindeki alıcılardan oluşur. Görsel 3.11'de VLA Gözlemevine ait 25 m çapındaki radyo teleskopları görülmektedir.

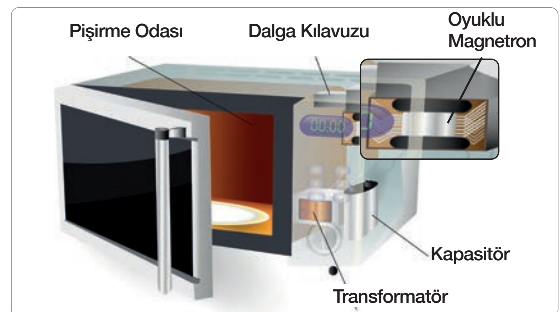


Görsel 3.11: *VLA Gözlemevindeki radyo teleskoplarından bazıları*

Mikrodalga

Mikrodalgalar, kozmik ışınlar olarak da adlandırılır. Mikrodalgalar, doğal bir kaynaktan yayılabileceği gibi yapay olarak da üretilebilir. Mikrodalga fırınlarda magnetron (Görsel 3.12) denilen aygıt tarafından mikrodalga üretilir. Aktarılan enerji, yiyecekteki su moleküllerini hareketlendirir ve bunun sonucunda yiyecek ısınır. Çıplak gözle görülemeyen bu dalgaların, yiyeceğin üzerindeki ısıtıcı etkisi gözlemlenebilir.

Mikrodalgalar, günümüzde daha çok donmuş gıdaların çözdürülmesinde, kurutma işlemlerinde, tıbbi atıkların sterilizasyonunda, hava tahmin sistemlerinde, cep telefonlarında, radar cihazlarında ve kablosuz iletişim sistemlerinde kullanılmaktadır.



Görsel 3.12: *Mikrodalga fırında elektromanyetik dalganın kaynağı magnetron*

Kızılötesi (İnfrared) Işınlar

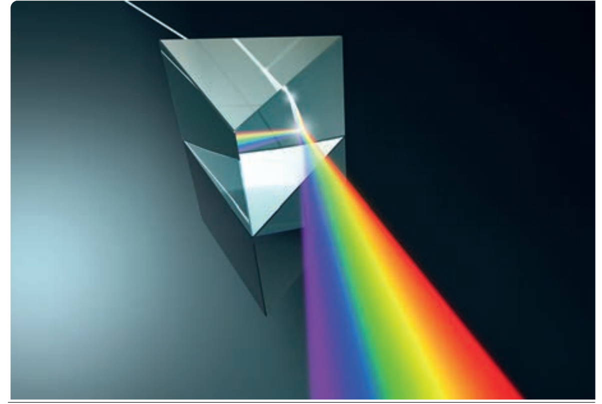
Tüm cisimler, sıcaklıklarına bağlı olarak kızılötesi ışıma yapar. Fakat bu ışınlar, insan gözü tarafından görülmez. Karanlıktaki bir nesnenin veya çok uzaklardaki bir gök cisminin yaydığı kızılötesi ışınlar, çeşitli cihazlar tarafından yakalanarak görünür hâle getirilebilir. Kızılötesi ışıma yapan cisimler, termal kamerada sıcaklığa göre farklı renklerde görünür. Kırmızı renk yüksek sıcaklığı, mor renk ise düşük sıcaklığı gösterir. Mordan kırmızıya doğru sıcaklık yükselir. Uzaktan kumanda, termal kamera, gece görüş sistemleri ve meteoroloji uydularında kızılötesi ışınlardan yararlanılır. Görsel 3.13'te gösterildiği gibi termal kameralar, kızılötesi ışınları görünür ışığa çevirir.



Görsel 3.13: *Bazı nesnelerin termal kameradaki görüntüsü*

Görünür Işınlar

Görünür ışınlar, elektromanyetik spektrumun insan gözü tarafından algılanabilen aralığını oluşturur. Tüm nesneler Güneş'ten gelen ışınların bir kısmını yansıtır. Nesnenin yansıttığı ışın, göze ulaşarak görüntüsünün beyin tarafından oluşturulmasını sağlar. Diğer ışınlar nesne tarafından emilir. Görünür bölge renkleri, uzun dalga boyundan kısaya doğru kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor olarak sıralanır. Görsel 3.14'te görüldüğü gibi beyaz ışık prizmadan geçirilince güneş ışığını oluşturan renklere ayrılır. Gökkuşağının oluşumunda yine kırmızıdan mora doğru ayrılan ışık renkleri görülür.



Görsel 3.14: *Beyaz ışığın prizmada renklere ayrılması*

Morötesi (Ultraviyole) Işınlar

Gözle görülemeyen bu ışınların enerjisi, görünür ışınlardan daha fazladır. Morötesi (UV) ışınların kaynağı genellikle Güneş'tir. UV ışınlar; A, B ve C şeklinde sınıflandırılır. Zararlı UV C ışınlarının tamamı, UV B ışınlarının çok büyük bir kısmı atmosfer tarafından soğrulur. Bu nedenle insanlar, UV A ve az miktarda UV B ışınlarına maruz kalır. Bu ışınlar, güneş yanıklarına ve bronzlaşmaya neden olan ışınlardır. Astronomide uzaya kurulan morötesi ışın teleskopları aracılığıyla uzak yıldızlar ve galaksiler görüntülenip incelenmektedir.

Güneş'ten koruyan losyonlar, UV ışınlara karşı deri üzerinde kısmen koruyucu bir tabaka oluşturur. UV ışınlara karşı koruyucu nitelikteki güneş gözlükleri de UV ışınların zararlı etkilerine karşı gözün korunmasında yardımcı olur. Morötesi ışınlar, su arıtma tesislerinde ve şişe su fabrikalarında, ameliyathanelerde, diş kliniklerinde, berberlerde genellikle mikropları öldürmek için sterilizasyon amaçlı kullanılır. Görsel 3.15'te kurutucu makinenin içinde UV ışınlar altında sterilizasyon işlemi gösterilmektedir. Gıda üretim atölyelerinde sinek türlerinden korunmak, solaryum cihazlarında bronzlaşmayı sağlamak için UV ışınlardan yararlanılır. Banknot ve kredi kartlarında sadece UV ışın altında görülebilen gizli desenler bulunmaktadır. Bunların sahte olup olmadığı UV ışın altında anlaşılabilir.



Görsel 3.15: *UV ışın ile sterilizasyon*

X Işınları

Enerjisi yüksek olduğu için X ışınları canlı hücrelere zarar verebilir. Güneş'ten gelen X ışınları atmosfer tarafından soğrulur. X ışınları, yapay olarak hızlandırılmış elektronların bir metale çarptırılıp durdurulması sonucu oluşturulabilir. X ışınlarının tıpta kullanımı oldukça yaygındır. Yumuşak dokudan geçebilen bu ışınlar, kemik yüzeyi tarafından emilir. Bu sayede kemiklerin röntgen görüntüleri elde edilir. X ışınları, tıpta teşhis ve tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Görsel 3.16'da X ışınları kullanılarak çekilen röntgen filminin bilgisayar ekranındaki görüntüsü verilmiştir. X ray ve dedektör cihazları, sabit X ışınları yayarak alışveriş merkezlerinde ve havaalanlarında çantaların içinin ve insanların üzerinin kontrol edilmesinde kullanılır. Astronomide önemli bir yere sahiptir. Uzaya kurulan X ışını teleskopları ile X ışınları tespit edilerek gök cisimleri hakkında bilgi toplanır. Fabrikalarda üretilen metal malzemelerin ve elektronik aygıtların kalitesi, bu ışınlar sayesinde kontrol edilir. Maddelerin atomik yapılarının araştırılmasında da bu ışınlardan yararlanılır.

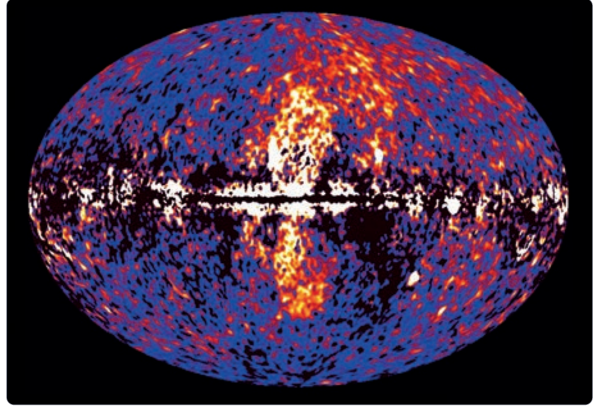


Görsel 3.16: *Röntgen filminin bilgisayar ekranındaki görüntüsü*

Gama Işınları

Gama ışınları, elektromanyetik spektrumun en kısa dalga boyuna sahip, en yüksek enerjili dalgalarıdır. Bu ışınların girişkenliği çok yüksektir. Kara delikler, nötron yıldızları, süpernova patlamaları gama ışınlarının doğal kaynağıdır. Bu dalgalar, Dünya atmosferi tarafından soğrulur. Yapay olarak radyoaktif elementlerin bozunmasından elde edilir. Astronomide önemli bir yere sahiptir. Bir gök cisminden yayılan gama ışınları, gök cismi hakkında birçok veriyi bünyesinde taşır. Uzaya kurulan gama ışını teleskopları ile gama ışınları tespit edilerek gök cisimleri ve gök adalar hakkında bilgilere ulaşılabilir (Görsel 3.17).

Gama ışınlarının girişkenliği yüksek olduğu için bu ışınlar, canlı dokuda bulunan tümörleri ve kanser hücrelerini yok etmek için kullanılır. Atom bombası, etrafına gama ışını yayması için tasarlanan bir çekirdek reaksiyonudur.



Görsel 3.17: *Samanyolu gök adasının merkezinin çevresi yönünde gama ışınları yayan baloncuklar*

SORU 2

Elektromanyetik dalgalardan yararlanılarak tasarlanan cihazlar günlük hayatı kolaylaştırmaktadır. Güvenlik görevlilerinin uzak mesafelerden iletişim kurması, hastanede diz kemiği röntgeninin çekilmesi, geceleri çıplak gözle görülemeyen nesnelerin tespit edilmesi elektromanyetik dalgaların kullanım alanlarına örnek gösterilebilir.

Yukarıda örneklendirilen durumlarda hangi cihazların kullanıldığını ve hangi elektromanyetik dalgalardan yararlanıldığını yazılı olarak ifade ediniz.

ÇÖZÜM

Güvenlik görevlileri, birbiriyle iletişim kurmak için cep telefonlarını ve telsizleri kullanır. Bu görevliler arasındaki iletişim, radyo dalgaları veya mikrodalgalar sayesinde gerçekleşir.

Hastanede röntgen çekiminde kullanılan röntgen cihazları, X ışınlarından yararlanır.

Tüm nesneler sıcaklığından dolayı kızılötesi ışın yayar. Kızılötesi ışınlar, termal kameralar yardımıyla görüntülenir.

UYGULAMA » 4

Elektromanyetik dalga spektrumundaki dalgaların özelliklerinden bazıları aşağıda verilmiştir.
Cümlelerin karşısındaki boşluklara uygun elektromanyetik dalganın ismini yazınız.

1.	Uzaktan kumandanın led kısmından yayılır.	....
2.	Hareket hâlindeki araçların hız tespitinde kullanılan radarlarda kullanılır.	....
3.	Röntgen çekimlerinde kullanılır.	....
4.	Nükleer reaktörlerde radyoaktif maddelerin reaksiyonu ile açığa çıkar.	....
5.	Göz için zararlı olabilecek etkilerini güneş gözlükleri engelleyebilir.	....
6.	Spektrumun en düşük enerjili elektromanyetik dalgasıdır.	....
7.	Kızılötesi ışınlardan daha yüksek, morötesi ışınlardan daha düşük enerjiye sahiptir.	....

SORU 3

Aşağıda verilen olaylardan hangileri elektromanyetik dalga yayılmasına neden olur? Gerekçeleriyle açıklayınız.

I. Hızlandırılan elektronların metale çarptırılıp durdurulması
II. Bir metalin sürekli ısıtılması
III. Reaktörlerde çekirdek parçalanması
IV. Akım geçen bir telde elektronların ileri geri ivmelenmesi

ÇÖZÜM

I. Yüklerin ivmeli hareketi ile hızlandırılan elektronların metale çarptırılıp durdurulması sonucunda X ışınları oluşur.
II. Bir metalin ısıtılması, elektromanyetik dalgaların yayılmasına neden olur. Bu dalgalar, kızılötesi ışınım şeklinde yayılır.
III. Nükleer reaktörlerde çekirdek parçalanması, yüksek enerjili elektromanyetik dalga yayılımına sebep olur. Bu dalgalar gama ışınlarıdır.
IV. Bir telden geçen akımın değişmesi, yüklerin ivmeli hareketine neden olur. Bunun sonucunda elektromanyetik dalga oluşur. Örneğin verici anten üzerindeki akımın değişmesi, radyo dalgalarının oluşmasını sağlar.

ARAŞTIRMA

Aşağıda verilen konulardan birini seçip araştırınız ve ulaştığınız bilgileri sunum yaparak arkadaşlarınızla sınıfta paylaşınız.

1. Elektromanyetik spektrumda yer alan elektromanyetik dalga çeşitlerinin günlük hayatta nerelerde kullanıldığını ve bu dalga çeşitlerinden teknolojide nasıl yararlanıldığını araştırınız.
2. Erzurum’da inşa edilen Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) ve buraya kurulacak teleskobun özellikleri hakkında araştırma yapınız.
3. Radyo teleskopları ve uygulamaları ile ilgili araştırma yapınız.

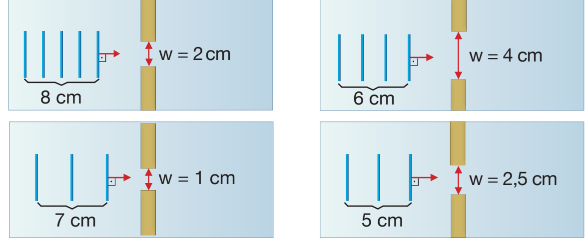
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerden doğru olanların karşısına "D", yanlış olanların karşısına "Y" yazınız.

1. Su dalgalarının yeterince dar bir aralıktan geçtikten sonra bükülerek her yönde yayılmasına kırılma denir. ☐
2. Dalgalar madde taşır. ☐
3. Girişim ve kırınım olayı, ışığın dalga karakterinin bir sonucudur. ☐
4. Su dalgalarında girişim olayında çift tepe ve çift çukur noktalarının birleştirilmesi ile oluşan çizgiye dalga katarı denir. ☐
5. Aynı fazlı özdeş iki noktasal kaynak kullanılarak oluşturulan bir girişim deseninde kaynakları birleştiren doğru üzerindeki ardışık bir dalga katarıyla bir düğüm çizgisi arası uzaklık $\lambda/2$'dir. ☐
6. Elektromanyetik spektrumun en yüksek enerjili ışınları, gama ışınlarıdır. ☐
7. Aynı ortamda ilerleyen yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar, düşük enerjili elektromanyetik dalgalardan daha hızlı yayılır. ☐
8. Çift yarıkta girişim deneyinde ışığın dalga boyu arttıkça saçak aralığı da artar. ☐
9. Tek yarıkta kırınım deneyinde en geniş saçaklar mavi ışık kullanılarak elde edilir. ☐
10. Hareketsiz bir ses kaynağına yaklaşmakta olan bir gözlemcinin işittiği sesin frekansı, kaynağın ürettiği sesin frekansından büyüktür. ☐
11. Dünya'dan uzaklaşan yıldızların ışık rengi kırmızıya yaklaşır. Bu olay, kırmızıya kayma olarak adlandırılır. ☐
12. Çift yarıkta girişim deneyinde ışığın ulaşmadığı bölgelerde karanlık, ulaştığı bölgelerde aydınlık saçaklar oluşur. ☐
13. Doğrusal su dalgaları, dalga boyuna oranla geniş bir aralıktan geçerken dairesel şekil alır. ☐
14. Kısa mesafe kablosuz iletişim sistemlerinde görünür ışınlar kullanılır. ☐
15. Gıda sektöründe besin temizleme işlemlerinde morötesi ışınlardan yararlanılır. ☐

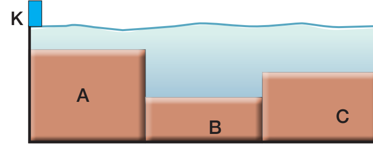
Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

16. Derinlikleri sabit dalga leğenlerinde ilerlemekte olan doğrusal su dalgalarının üstten görünüşleri ve engeller arasındaki uzaklıklar şekillerde verilmiştir.



Verilen dalgaların kırınıma uğrayıp uğramayacaklarını göz önünde bulundurarak engeller arasından geçtikten sonraki şekillerini yukarıdaki görsellerin üzerine çiziniz.

17. Öykü, Özgü ve Aras bir proje ödevi kapsamında yandan görünümü verilen dalga leğeninin tabanına A, B, C takozlarını yerleştirerek farklı derinlikte bölgeler oluşturuyor. Doğrusal su dalgaları üreten K kaynağı ve sabit aralıklı bir engel kullanan Öykü, engeli yerleştirdiği bölgede kırınımı net bir şekilde gözlemlerken Aras, engeli yerleştirdiği bölgede kırınımı gözlemleyemiyor. Özgü ise kırınım olayını kısmen gözlemliyor.



Buna göre

a) Öğrenciler, sabit aralıklı engeli hangi bölgelere yerleştirmiştir?

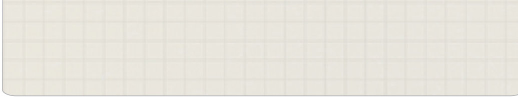
b) Kırınım olayını gözlemleyebilmek için Aras neler yapmalıdır?

18. **Saçak aralığı göz önüne alındığında ışığın kırınımı ve girişimi deneyinde benzerlikler ve farklılıklar nelerdir? Kısaca açıklayınız.**

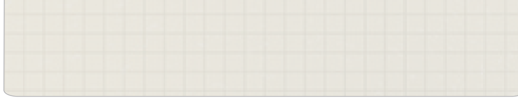
19. **Seste Doppler olayının etkilerini günlük hayatta karşılaştığınız örneklerle açıklayınız.**

20. Aşağıdaki adımları takip ederek tek yarıkta kırınım ve çift yarıkta girişim deneyi yapınız ve soruları cevaplayınız. Deney için üç adet 0,5 kalem ucu ve bir lazer ışını hazırlayınız.

a) İki kalem ucunu, aralarında çok az mesafe kalacak şekilde yatay ve birbirine paralel olarak ayarlayınız. Lazeri 10 cm mesafeden kalem uçlarının (yarığın) tam ortasına gelecek şekilde tutunuz. Duvarda oluşan kırınım desenini inceleyiniz.
Gözlemlediğiniz kırınım desenini aşağıdaki boş alana çiziniz.

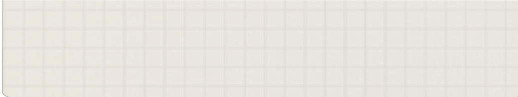


b) Üç kalem ucunu aralarında çok az mesafe kalacak şekilde yatay ve birbirine paralel olarak ayarlayınız. Lazeri 10 cm mesafeden ortadaki kalem ucunun (yarıkların) tam ortasına gelecek şekilde tutunuz. Duvarda oluşan girişim desenini inceleyiniz.
Gözlemlediğiniz girişim desenini aşağıdaki boş alana çiziniz.

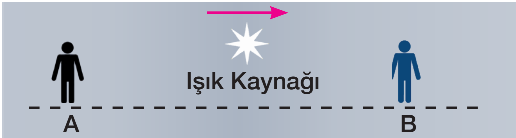


21. **Gama ışını, X ışını ve morötesi ışınları algılayan teleskopların yeryüzüne değil, uzaya kurulmasının sebebini açıklayınız.**

22. **Elektromanyetik bir dalganın bileşenlerini çizerek ilerleme yönünü gösteriniz.**



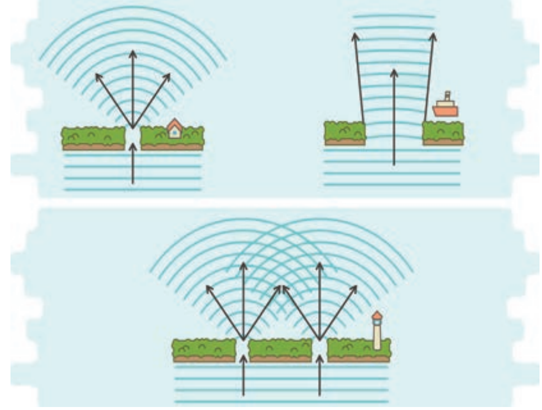
23. Beyaz ışık yayan bir cisim, şekildeki gibi ışık hızına yakın bir hızla ok yönünde hareket etmektedir.



Doppler olayı göz önüne alındığında A ve B noktalarında bulunan gözlemciler, ışığı hangi renkte algılayabilir? Gerekçeleriyle açıklayınız.

Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

24. Sabit derinlikli dalga leğenlerinde özdeş kaynaklar tarafından üretilen su dalgaları engellere ulaştıktan sonra şekilde verilen desenler oluşmaktadır.



Buna göre

I. Dalga leğenlerinde hem kırınım hem de girişim olayı gözlemlenmiştir.

II. Engelden geçen dalgaların süratleri azalmıştır.

III. Üst üste geldiğinde girişim yapan su dalgalarının dalga boyları artar.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

25. Su derinliği her yerinde aynı olan dalga leğeninde aynı fazlı özdeş iki noktasal kaynak ile girişim deseni oluşturuluyor. Girişim deseninde dalga katarları ve düğüm çizgileri gözlemleniyor.

Buna göre

I. Kaynakların tam ortasında oluşan merkez doğrusu dalga katarı özelliği gösterir.

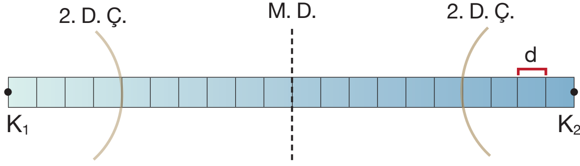
II. Girişim deseninde gözlemlenen dalga katarlarının sayısı tek sayı, düğüm çizgilerinin sayısı çift sayıdır.

III. Dalga leğenine su eklenirse dalga leğeninde gözlemlenen düğüm çizgilerinin sayısı artar.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

26. Su derinliği her yerinde aynı olan dalga leğeninde aynı fazlı özdeş iki noktasal kaynak ile girişim deseni oluşturuluyor. Girişim deseninde oluşan 2. düğüm çizgileri şekilde gösterildiği gibidir.



Birim karelerin uzunluğu d kadar olduğuna göre

I. Özdeş noktasal kaynakların ürettiği dalgaların dalga boyu $\lambda = 8d$'dir.
II. Dalga leğeninde 5 tane dalga katarı gözlemlenir.
III. Dalga leğeninde gözlemlenen düğüm çizgilerinin sayısı, dalga katarlarının sayısından daha fazladır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

27. Doğrusal su dalgaları, sabit derinlikli bir dalga leğeninde yeterince dar bir aralıktan geçerken bükülerek dairesel bir şekil alır.

Buna göre

I. Su dalgalarında gözlemlenen bu olay, dalgaların kırılması olarak adlandırılır.
II. Bu olay sonucunda dalgaların frekansı değişmez.
III. Bu olaydan hareketle dalgaların yıkıcı ve yıpratıcı etkilerinden kıyı bölgelerini korumak için uygun yerlere dalgakıranlar yapılmaktadır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

28. Sabit derinlikli bir dalga leğeninde aynı anda suya batıp çıkan özdeş iki noktasal kaynak, girişim deseni oluşturuyor.

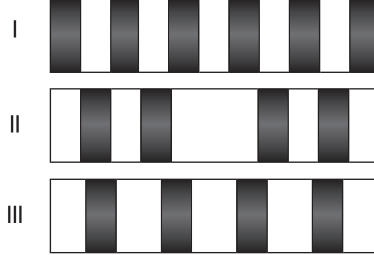
Buna göre dalga leğenine su ilave edilirse

I. Kaynakları birleştiren doğrultu üzerindeki ardışık iki dalga katarı arasındaki uzaklık artar.
II. Gözlemlenen düğüm çizgisi sayısı azalır.
III. Dalga katarları ile düğüm çizgileri eski yerinde kalır.

ifadelerinden hangileri kesinlikle doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) II ve III E) I, II ve III

29. Bir öğrenci, çift yarıkta girişim için yarıklar arası düzlemi, tek yarıkta kırınım için yarık düzlemini kullanarak üç deney gerçekleştiriyor. Öğrenci, bu deney sonucunda oluşan desenleri aşağıdaki gibi çiziyor.



Bu çizimlere göre

I. Birinci deneyde yarıklar arası düzlem kullanıldıysa ikinci deneyde yarık düzlemi kullanılmıştır.
II. Birinci ve üçüncü deney, ışığın çift yarıkta girişimi ise farklı ışık kaynakları ile gerçekleştirilmiştir.
III. İkinci ve üçüncü deney, ışığın tek yarıkta kırınımı deneyidir.

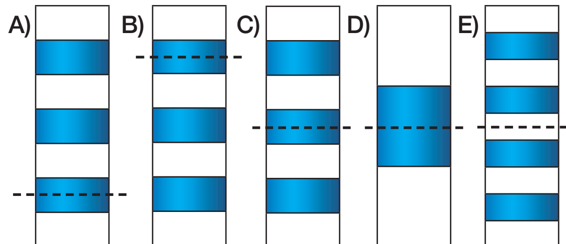
yargılarından hangileri doğru olabilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

30. Hava ortamında çift yarıkta girişim deneyi gerçekleştiriliyor ve perdede oluşan desen şekildeki gibi modelleniyor.



Deneyde alt yarığın önüne saydam bir cam yerleştirilirse perdede aşağıdaki desenlerden hangisi oluşabilir? (Seçeneklerde gösterilen kesikli çizgiler, yeni oluşan merkezî aydınlık saçağın orta noktasını göstermektedir.)



31. Hava ortamında yapılan tek yarıkta kırınım deneyinde hem merkezî aydınlık saçağın yerinin değişmesi hem de saçak aralığının büyümesi hedefleniyor.

Buna göre

I. yarık düzlemi ile perdenin arasını kırıcılık indisi havadan büyük bir sıvı ile doldurmak,

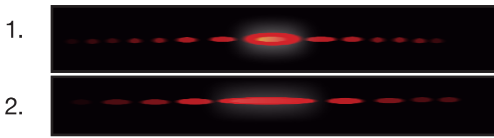
II. tek yarığın üst yarısını saydam bir engel ile kapatmak,

III. tek yarığın alt yarısını saydam olmayan bir engel ile kapatmak

işlemlerinden hangilerinin yapılması gerekir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I ve II **E)** I ve III

32. Hava ortamında yapılan tek yarıkta kırınım deneyinde kırmızı dalga boyuna sahip tek ışık kullanılarak şekildeki gibi iki desen elde edilmiştir. İlk deney sonrası bazı değişiklikler yapılmış ve 2. desen oluşmuştur.



2. desenin 1. desenden farklı olması

I. Perde ile yarık düzlemi arasındaki mesafe artırılmıştır.

II. Yarığın genişliği azaltılmıştır.

III. Yarığın alt kısmı saydam cam ile kapatılmıştır.

ifadelerinden hangileri ile açıklanabilir?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

33. Işığın çift yarıkta girişimi deneyinde

I. ışık kaynağını yarıklar düzlemine yaklaştırma,

II. yarıklar düzlemini bir miktar saat yönünde döndürme,

III. ışığın dalga boyunu azaltma,

IV. desenin oluşacağı perdeyi yarıklar düzlemine yaklaştırma

işlemlerinden hangileri yapılırsa saçak aralığı değişir?

A) I ve II **B)** II ve III **C)** III ve IV **D)** I, II ve III **E)** II, III ve IV

34. Kırınım ve girişim deneyleri sonucunda ışığın dalga özelliği gösterdiği sonucuna varan bir öğrenci;

I. tavus kuşunun pullarındaki renklenme,

II. masanın kenarına tutulan bir ışığın oradan bükülüp masanın arka tarafına geçmesi,

III. CD yüzeyinde renklenmelerin oluşması

olaylarından hangileri ile bu hipotezini ispatlamış olur?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

35. Aşağıdakilerden hangisi elektromanyetik dalgaların günlük hayatta kullanımına örnek olarak <u>verilemez</u>?

A) Tıp alanında görüntüleme sistemlerinde X ışınları kullanılır.

B) Kara yollarında araçların hızının tespitinde görünür ışınlar kullanılır.

C) Gıda alanında sterilizasyon işlemlerinde morötesi ışınlar kullanılır.

D) Askerî alanda gece görüş sistemlerinde kızılötesi ışınlar kullanılır.

E) Tıp alanında tümörleri yok etmek amacıyla gama ışınları kullanılır.

36. I. Kırmızı ışık

II. Gama ışını

III. Morötesi ışın

IV. Mikrodalga

V. Alfa ışını

Yukarıdaki dalgalardan kaç tanesi manyetik alandan <u>etkilenmez</u>?

A) 1 **B)** 2 **C)** 3 **D)** 4 **E)** 5

37. ---- ışığın dalga olduğunu tarihte ilk ifade eden bilim insanıdır.

---- elektromanyetik teorinin kurucusu olarak kabul edilir.

---- elektromanyetik dalgaları deneysel olarak ispatlamıştır.

Bu cümlelerde boş bırakılan yerlere aşağıdakilerden hangisi sırasıyla getirilmelidir?

A) Huygens - Hertz - Maxwell

B) Huygens - Maxwell - Hertz

C) Maxwell - Hertz - Huygens

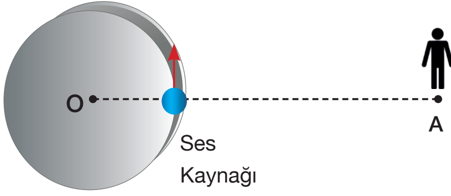
D) Maxwell - Huygens - Hertz

E) Hertz - Maxwell - Huygens

38. Elektromanyetik dalgaların ortak özellikleri ile ilgili aşağıda verilen ifadelerden hangisi yanlıştır?

A) Hızları ortama göre değişiklik gösterir.
B) Elektrik alanına ve manyetik alana dik olacak şekilde ilerler.
C) Elektrik alanında sapmaya uğrar.
D) Yayılmaları için ortam gerekli değildir.
E) Madde tarafından soğrulabilir.

39. f frekanslı bir ses kaynağı, şekilde verilen düzlemde düzgün çembersel hareket yaparak O noktası çevresinde 12 s'lik periyotla dolanmaktadır.



A noktasındaki durgun gözlemcinin algıladığı frekans ile ilgili olarak

I. 0-3 s aralığında f'den büyüktür.
II. 6-9 s aralığında frekans giderek artar.
III. 0-12 s aralığında frekans önce azalır, sonra artar.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

40. Kırmızı ve morötesi ışınlar için

I. Kırınıma uğrar.
II. Boşluktaki hızları farklıdır.
III. Pozitif yüklüdür.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

41. Sabit frekansta ses üreten bir ses kaynağı, aralarında belirli bir mesafe olacak şekilde, gözlemci ile aynı doğrultu üzerinde bulunmaktadır.

Buna göre

I. gözlemci durgun, kaynak gözlemciye doğru yaklaşırken,
II. kaynak durgun, gözlemci kaynağa doğru yaklaşırken,
III. kaynak ve gözlemci birbirinden uzaklaşırken,
IV. kaynak ve gözlemci durgunken

durumlarından hangileri tek başına olursa Doppler olayı gerçekleşebilir?

A) I ve II B) II ve III C) I, II ve III D) I, II ve IV E) II, III ve IV

42. Sabit frekansta ses üreten ses kaynağının ve gözlemcinin hızları ile ilgili bilgiler tabloda verilmiştir.

	Ses Kaynağının Hız Büyüklüğü	Gözlemcinin Hız Büyüklüğü
I. Durum	ϑ	ϑ
II. Durum	2ϑ	ϑ
III. Durum	ϑ	2ϑ

Buna göre tabloda verilen hangi durumlarda gözlemcinin algıladığı sesin frekansı, kaynağın ürettiği sesin frekansından daha düşük olabilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III



Karekodda verilen bulmacaları çözünüz.

4. ÜNİTE

ATOM FİZİĞİNE GİRİŞ VE RADYOAKTİVİTE

ÜNİTE BÖLÜMLERİ



4. ünitenin sunumu için karekodu okutunuz.



4. üniteye ulaşmak için karekodu okutunuz.

1. BÖLÜM

4.1. ATOM KAVRAMININ TARİHSEL GELİŞİMİ



Anahtar Kavramlar

- Atom
- Uyarılma
- Bohr Atom Teorisi
- İyonlaşma
- Enerji Seviyesi
- Işıma



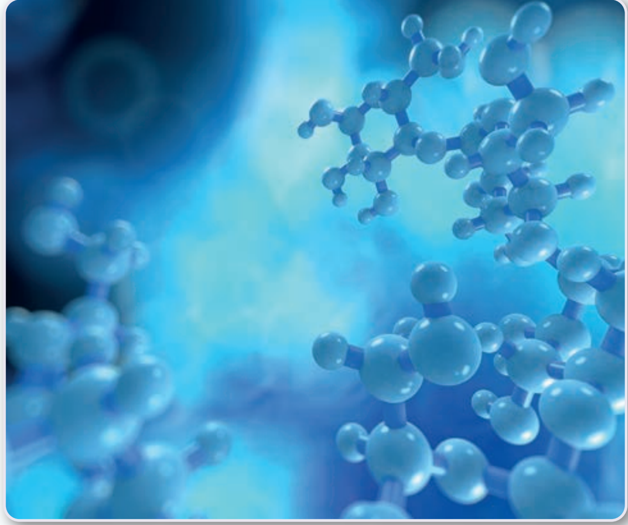
NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde atom kavramının tanımı, atom teorilerinin tarihsel süreci ve bu süreçte yer alan deneyler üzerinde durulacaktır. Ayrıca Bohr atom teorisinde atom yarıçapı, enerji seviyeleri, uyarılma, iyonlaşma ve ışıma kavramları açıklanacaktır. Atomun uyarılma yolları, modern atom teorisinin önemi, Heisenberg belirsizlik ilkesi, Schrödinger dalga denkleminin önemi, kuantum sayıları, olasılık dalgası, atom fiziği çalışmaları yapan Türk bilim insanları verilecektir.



MADDEYİ MİKROSKOBİK YAPIDA DÜŞÜNMEK

Demirden yapılan bir toplu iğne de iki metrekarelik bir demir kapı da mikroskobik seviyede demir metalini oluşturan atomlardan meydana gelir. Demir kapı, toplu iğneye göre devasa büyüklükte olduğu için demir kapıyı oluşturan atomların toplu iğneyi oluşturan atomlardan çok daha büyük olduğu akıllara gelebilir. Fakat bu doğru değildir. İkisinin de atomlarının büyüklükleri ve şekilleri aynıdır. Bu durum, sadece bu cisimlere özgü değildir. Aynı türden oluşan tüm maddelerin atomlarının büyüklükleri aynıdır.



Belirli sayıdaki elementlerin atomları, farklı şekillerde bir araya gelerek evrende olağanüstü bir çeşitlilik oluşturur. Dünya'nın yaklaşık dörtte üçünü meydana getiren suyun içindeki hidrojen atomu ile Satürn gezegenindeki hidrojen atomu aynı atomik özelliklere sahiptir. Şu farkla ki Satürn'ün çekirdeğinin etrafındaki hidrojen tabakası metaliktir. Burada insanın aklına şu sorular gelmektedir: Maddenin hâlinin değişmesi atomlarının değişmesini gerektirir mi? Yüksek basınç altında metalik özellikler gösteren hidrojen ile suyu oluşturan hidrojenin atomları aynı olabilir mi?



HAZIRLIK SORULARI

1. **Aynı maddeden yapılan cisimlerin boyutları ile atomlarının boyutları arasında bir ilişki var mıdır? Açıklayınız.**

2. Sıvı bir madde soğutulduğunda donarak katı hâle geçer.
Sizce bu durumda maddenin atomlarında herhangi bir şekil değişikliği gerçekleşir mi? Tartışınız.

3. Mikroskobik büyüklükte olan hücre ve atom, çıplak gözle görülemez.
"İnsan dokusunu oluşturan bir hücre ile bir atomun büyüklüğünü kıyaslayınız." denildiğinde cevabınız ne olur? Açıklayınız.

4.1.1. Atom Kavramı

Maddenin çeşitliliğini ve çokluğunu gözlemleyen Eski Çağ filozofları, maddenin kökeninde ve çeşitliliğin temelinde yatan bir unsur olması gerektiğini düşünmüş ve maddenin kendisinden türediği bu temel unsurun maddenin ortak özelliği olduğunu ileri sürmüştür.

Democritus [Demokritos (MÖ 5. yy.)], maddenin temelinde atom denilen ve daha küçük parçalara bölünemeyen bir unsur bulunduğunu söylemiştir. Maddenin kendisine dayandığı bu unsuru "atomos" olarak isimlendirmiştir. Atomos, Yunancada kesilemez veya bölünemez anlamına gelmektedir.

Fiziğin felsefeden ayrılıp bir bilim dalı olarak ortaya çıkmasından sonra atomla ilgili deneysel çalışmalar yapılmış ve atomun yapısını açıklayan atom teorileri ortaya atılmıştır. Her atom teorisi bir önceki teorinin eksiklerini kapatmış ve atom teorileri birbiriyle ilişkili şekilde gelişerek bugünkü hâlini almıştır.

Bugünkü bilgilere göre evrende enerji dışındaki her şey atomlardan oluşmaktadır. Göz ile görülemeyen atom, bir maddeye karakteristik özelliğini veren temel unsurdur. Atomun yapısının çok büyük bir kısmı boşluktan oluşur. Geriye kalan kısım, çekirdek ve elektronlardan meydana gelir. Çekirdek, pozitif yüklü proton ve yüksüz nötrondan oluşmakta ve çekirdeğin çevresinde negatif yüklü elektronlar bulunmaktadır.

Atom Teorileri

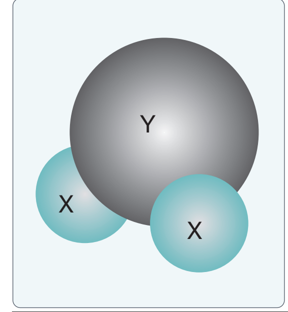
1. Dalton Atom Teorisi

John Dalton [Con Daltın (Görsel 4.1)] bilim dünyasına bir atom modeli sunmuştur. Bu modele göre

- Madde veya elementler, atom adı verilen ve bölünemeyen çok küçük taneciklerden oluşur.
- Bir elementi oluşturan atomlar birbiriyle aynıyken başka bir elementi oluşturan atomlardan farklıdır.
- Bileşikler, birden çok elementin atomlarından oluşur.
- Atomlar, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi çok yoğun, içi dolu kürelerdir.



Görsel 4.1: *John Dalton (temsilî)*



Şekil 4.1: *Dalton'a göre 2 tane X ve 1 tane Y atomunun temsilî birleşim modeli*

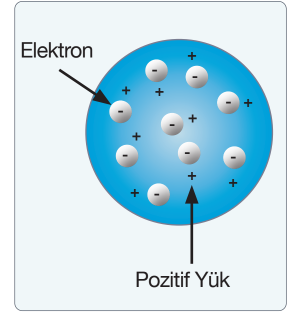
2. Thomson Atom Teorisi

Dalton atom modelinin ardından William Crookes (Vilyım Kuruks), Crookes tüpünü icat etti ve katot ışınlarını buldu. Julius Plücker (Yulyus Plüker), katot ışınlarının negatif yüklü olduğunu mıknatıslardan yararlanarak ortaya koydu. George Johnstone Stoney (Corç Conston Stoniy), elektronu keşfetti. Bütün bu gelişmelerin katkısıyla John Thomson [Con Tamsın (Görsel 4.2)], bilim dünyasına üzümlü keke benzetilen yeni bir atom modeli sundu. Bu modelde kek, tamamen dolu pozitif kısmı; kuru üzümler ise elektronları temsil etmektedir. Bu modele göre

- Atomlar, yaklaşık çapı 10^{-10} m olan içi dolu yüksüz (nötr) kürelerdir.
- Elektronların kütlesi, atomun kütlesinin yanında ihmal edilecek kadar küçüktür.
- Pozitif ve negatif yükler, Şekil 4.2'de gösterildiği gibi elektriksel yük dengesini sağlayacak şekilde bir araya gelmiştir.



Görsel 4.2: *J. John Thomson*

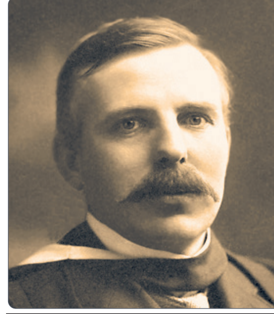


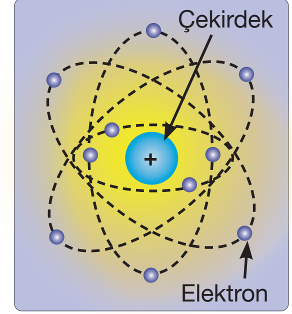
Şekil 4.2: *Elektronların pozitif yüklü kürenin içine gömülmesi ile oluşturulan temsilî model*

3. Rutherford Atom Teorisi

Robert Andrews Milikan'ın (Rabırt Andrüvs Milikan) yağ damlası deneyi ve Thomson'ın elektronlarla ilgili çalışmalarından yararlanan Ernest Rutherford [Ernest Radırford (Görsel 4.3)], Güneş sistemine benzetilen bir atom modeli geliştirmiştir. Güneş, atom çekirdeğini; gezegenler ise çekirdeğin etrafındaki elektronları temsil eder. Bu modele göre

- Atomda çekirdek adı verilen bir yapı vardır.
- Çekirdek, atomun kütlesinin büyük bir kısmını oluşturmakla beraber hacim olarak çok az yer kaplar.
- Atomun yapısı büyük oranda boşluktur.
- Atom, pozitif yüklü çekirdek ile elektriksel çekim kuvveti sayesinde çekirdeğin çevresinde çembersel yörüngelerde dolanan negatif yüklü elektronlardan oluşur (Şekil 4.3).


Görsel 4.3: *Ernest Rutherford*



Şekil 4.3: *Pozitif yüklü çekirdeğin çevresinde dolanan elektronların temsilî modeli*

UYGULAMA » 1

Bilim tarihinde atom hakkında birçok görüş öne sürülmüştür. Atomla ilgili bu görüşler, modeli ilk dile getiren bilim insanının ismiyle özdeşleşmiştir.

Aşağıda verilen atomla ilgili görüşlerin kimlere ait olduğunu boşluklara yazınız ve bu görüşleri kronolojik olarak sıralayınız.

a) Atomda pozitif yükler çekirdekte toplanmıştır.		
b) Atom, içi dolu bir küredir.		
c) Atomlar bölünemez parçacıklardır.		
ç) Atomun içinde pozitif ve negatif yükler eşit sayıdadır.		

UYGULAMA » 2

Belli bir konuda ileri sürülen bilimsel bir görüş, sorgulanamaz veya tartışılamaz değildir. Atom teorilerinin bilimsel yaklaşımlarla sorgulanması sonucunda yeni teoriler üretilmiştir.

Dalton, Thomson ve Rutherford'un önerdiği atom teorilerini dikkate aldığınızda sizce en önemli bulgu hangisidir? Düşüncelerinizi gerekçeleriyle ifade ediniz.

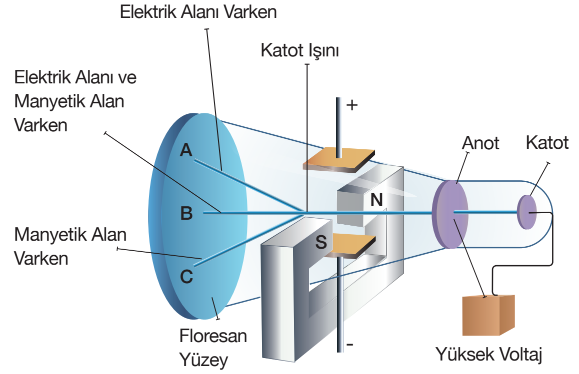
Atomun Keşfi Sürecinde Yapılan Deneyler

Görsel 4.4'te görülen Crookes tüpü; havası boşaltılmış, basıncı azaltılmış, camdan yapılan kapalı saydam bir düzenektir. William Crookes, vakumlu tüpün uçlarına anot (+) ve katot (-) elektrotlarını bağlayarak bu uçlardan yüksek voltaj geçirdiğinde katottan anoda doğru yönelen bir ışın keşfetmiştir. Bu ışınlara **katot ışınları** adı verilmiş ve katot ışınları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Sonraki yıllarda Crookes tüpü ve katot ışınları ile yapılan deneyler, atom fiziğine büyük katkı sağlamıştır.


Görsel 4.4: *Crookes tüpü*

1. Thomson'ın e/m Deneyi (1897)

Thomson, Şekil 4.4'te bir modeli verilen deney düzeneği ile katot ışınları üzerinde çalışmalar yaptı. Bu deneylerde elektrik alanı ve manyetik alanın etkisiyle ışınların sapma miktarını ölçmeye ve sapma yönünü belirlemeye çalıştı. Thomson, önce tüpe elektrik alanı uyguladı, ışınların sapma miktarını ve yönünü gözlemledi. Aynı işlemi manyetik alan uygulayarak tekrarladı. Bu denemeler sonucunda ışınların zıt yönlerde saptığını gördü. Thomson, katot ışınlarının elektrik ve manyetik alanda sapmasını birlikte değerlendirdiğinde bu ışınların negatif yüklerden yani elektronlardan oluştuğunu keşfetti ve elektronun yük/kütle (e/m) oranını hesapladı. Atom fiziğine yaptığı katkılardan dolayı 1906 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü almaya hak kazandı.



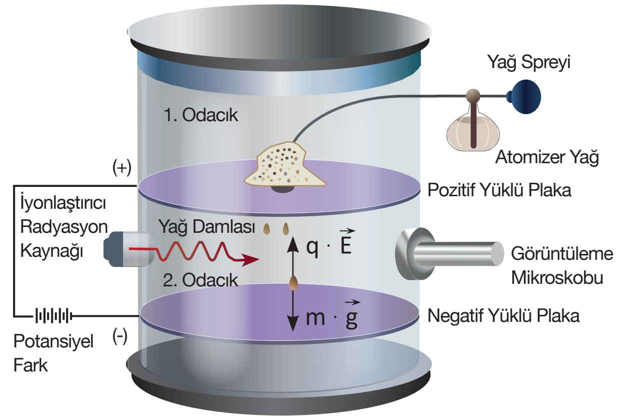
Şekil 4.4: Katot ışınlarının sapmasını incelemek için kurulan deney düzeneği

MERAKLISINA BİLİM

Thomson, gerçekleştirdiği deneyde elektronun yükünün kütlesine oranını -1,7588 $\cdot 10^{11}$ coulomb/kilogram (C/kg) olarak hesaplamıştır. Deneyde elektronun yükü ve elektronun kütlesi ayrı ayrı bulunmamıştır. Sadece yük ile kütle arasındaki oran bulunmuştur.

2. Milikan'ın Yağ Damlası Deneyi (1909)

Thomson'ın e/m oranını bulmasının ardından Robert Andrews Milikan, Şekil 4.5'te bir modeli verilen deney düzeneği ile elektronun yükünü hesaplamayı başardı. Düzenek, iki paralel plakayla ayrılan iki odacıktan oluşuyordu. Milikan, ilk odacığa yağ damlaları püskürttü. Bu yağ damlaları, üstteki plakanın ortasında bulunan küçük bir delikten ikinci odacığa geçti. Milikan, plakalar arasına uyguladığı X ışınları ile havayı iyonize etti ve yağ damlalarının elektronla yüklenmesini sağladı. Daha sonra yer çekimi kuvvetinin etkisiyle aşağıya doğru yönelen yağ damlalarına hareketinin tersi yönünde ve yer çekimi kuvveti (m · g) ile eşit büyüklükte bir elektriksel kuvvet (q · E) uyguladı. Bunun sonucunda bazı yağ damlalarının sabit süratle aşağı, bazılarının ise yukarı doğru hareket ettiğini gözlemledi. Milikan, deney sonucundan hareketle ve m · g = q · E eşitliğinden yararlanarak bir elektronun yükü olan q değerini hesaplamayı başardı.



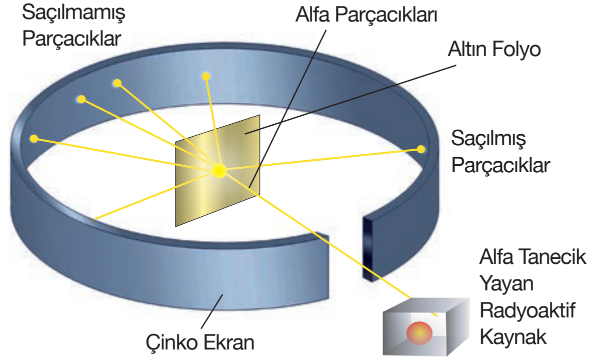
Şekil 4.5: Milikan yağ deneyi düzeneği

MERAKLISINA BİLİM

Milikan, kurduğu deney düzeneğinde yağ damlaları ile sayısız deney gerçekleştirmiştir. Bu deneylerde yağ damlalarının yükünün 1,6 $\cdot 10^{-19}$ C değerinin tam katları olduğunu hesaplamıştır. Buradan hareketle 1,6 $\cdot 10^{-19}$ C değerinin bir elektronun yükü olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu çalışmaları ile Milikan, 1923 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür.

3. Rutherford Saçılma Deneyi (1911)

Eugen Goldstein (Oygen Goldşıtayın), Crooks tüpleri ile yaptığı çalışmalarda katot ışınlarının tersi yönünde, anottan katoda doğru yönelen ışınların olduğunu gördü. Anottan katoda doğru yönelen ışınların pozitif yüklerden oluştuğunu keşfetti. Bu ışınların keşfi ve Ernest Rutherford'un çalışmaları sonucunda bu artı yüklere **proton** adı verildi. Rutherford ve öğrencileri, Şekil 4.6'da modellenen düzenek ile atomun yapısını anlamak için alfa saçılması deneyini yaptılar. Bu deneyde radyoaktif kaynaktan çıkan pozitif yüklü alfa ışınlarını, çok ince altın levha üzerine gönderdiler. Işınların çok büyük bir kısmının yolunu değiştirmeden altın levhadan geçerek çinko ekrana çarptığını tespit ettiler. Çok az ışının farklı açılarla saptığını, bazı ışınların da aynı doğrultuda geri döndüğünü gözlemlediler.



***Şekil 4.6:** Rutherford saçılma deneyinin düzeneği*

Rutherford, yaptığı deneyler sonucunda saçılan ışınların, altın levhayı oluşturan atomların çekirdeklerine rast gelerek saçıldığını keşfetti. Saçılan ışınların çok az olmasından hareketle atomun içindeki çekirdeğin çok küçük bir yer kapladığı, atomun büyük oranda boşluktan ibaret olduğu sonucuna ulaştı.

UYGULAMA » 3

Thomson'ın e/m deneyi ile Milikan'ın yağ damlası deneyi fizik alanında önemli bir yere sahiptir. Birbirini tamamlayıcı nitelikte olmasına rağmen bu deneyler arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır.

Her iki deneyi kıyaslayarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz. Açıklama kısmına genel bilgileri ekleyiniz.

	Bulgular	Thomson'ın Deneyi	Milikan'ın Deneyi	Açıklama
I.	Elektron yükünün her değeri alamayacağının belirlenmesi			
II.	Elektronun kütlesinin belirlenmesi			
III.	Elektronun yükünün kütlesine oranının hesaplanması			
IV.	Crookes tüpünün kullanılması	✓		Thomson, Crookes tüpü ile katot ışınlarına dayalı deney gerçekleştirmiştir.
V.	Katot ışınlarının negatif yüklü olduğunun bulunması			
VI.	Yer çekimi kuvvetinin varlığından yararlanılması			

UYGULAMA » 4

Rutherford'un alfa saçılması deneyinde ulaşılan sonuçları dikkate alarak aşağıdaki boşlukları uygun sözcüklerle tamamlayınız.

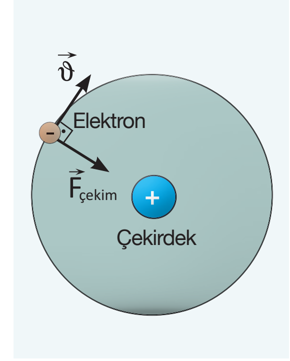
1. Alfa parçacıklarının çoğu sapmadığına göre atomun büyük bir bölümü .... yapıdadır.
2. Atomlar, ... çevresinde çembersel yörüngelerde dolanan negatif yüklü elektronlardan oluşur.
3. Deney sonuçlarına göre atomun yapısı .... sistemine benzetilmiştir.
4. Pozitif yüklü tanecikler, atomun .... çok küçük bir hacimde toplanmıştır.

4. Bohr Atom Teorisi (1913)

Rutherford, atom çekirdeği kavramını bilim dünyasına ilk sunan bilim insanıdır. Ancak çekirdekte bulunan pozitif yüklerin dağılmadan nasıl bir arada durabildiğini ve negatif yüklü elektronların pozitif yüklü çekirdek üzerine düşmeden nasıl hareketini devam ettirebildiğini açıklayamamıştır. Bu sorulara cevap arayan Niels Bohr [Niils Bor (Görsel 4.5)], bilim dünyasına yeni bir atom teorisi sunmuştur. Bohr; atom teorisinde yörünge, atom yarıçapı, enerji seviyeleri, uyarılma, iyonlaşma ve ışıma kavramlarını kullanmıştır. Önceki atom teorilerinde bu kavramlara yer verilmemiştir. Bohr'un atom modeli şu varsayımlara dayanmaktadır:



Görsel 4.5: *Niels Bohr*



***Şekil 4.7:** Çekirdek etrafında ϑ büyüklüğünde hız ile dolanan elektrona çekirdek tarafından uygulanan elektriksel çekim kuvvetinin yönü*

1. Varsayım: Elektron, Şekil 4.7'de verildiği gibi merkezcil kuvveti oluşturan Coulomb kuvvetinin etkisiyle pozitif yüklü çekirdek çevresindeki kararlı yörüngelerde ışıma yapmadan dolanır.

2. Varsayım: Elektron, belirli yörüngeler dışında rastgele konumlarda bulunmaz. Bu durum, kuantumlu yapıya geçiş için bir işarettir. Kararlı yörüngede dolanan elektron, açısal momentuma ($\vec{L}$) sahiptir. Yörüngede dolanan elektron için açısal momentum büyüklüğü şu şekilde ifade edilir:

$$L = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

Burada h Planck sabitini, n ise elektronun dolandığı yörünge numarasını gösterir. n yörünge numarası tam sayıdır (n = 1, 2, 3, ...). Açısal momentum, sadece yörünge numarasına göre değerler alabileceğinden kesiklidir veya kuantumludur. Bu durumdan yola çıkılarak atom yarıçapı ve enerji seviyeleri tarif edilebilir.

Elektronun çekirdek etrafında dolandığı yörünge, atomun yarıçapıdır (r). Bohr, çalışmalarında hidrojen atomunu kullanmış ve tek elektronun hareketini incelemiştir. Bu yüzden elektronun dolanma yarıçapı, atom yarıçapı olarak kabul edilir. Elektron, yörüngeler dışında rastgele dolanamadığı için atom yarıçapı da kuantumludur. Atom yarıçapı, şu şekilde ifade edilir:

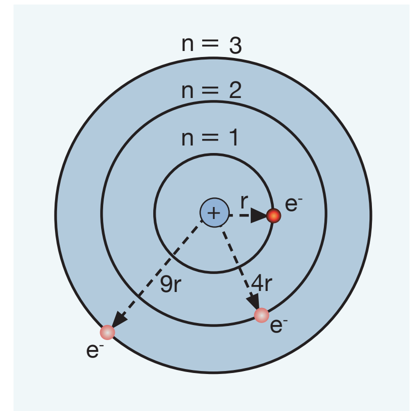
$$r = a_0 \cdot \frac{n^2}{Z}$$

Burada "a_0" 0,529 Å değerindeki fizik sabiti Bohr atom yarıçapıdır. Z atom numarasını, n yörünge numarasını (n = 1, 2, 3, ...) gösterir. Hidrojene ait elektron, Şekil 4.8'de gösterildiği gibi sadece bir yörüngede dolanabilir.

Elektronun, bulunduğu yörüngeye göre toplam enerjisi farklılık gösterir. Yörüngede dolanırken elektronun toplam enerjisi (E), hidrojen atomunun enerji seviyeleri ile ifade edilir. Hidrojen atomunun enerji seviyeleri, eV (elektron volt) birimi cinsinden aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$E = -R \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

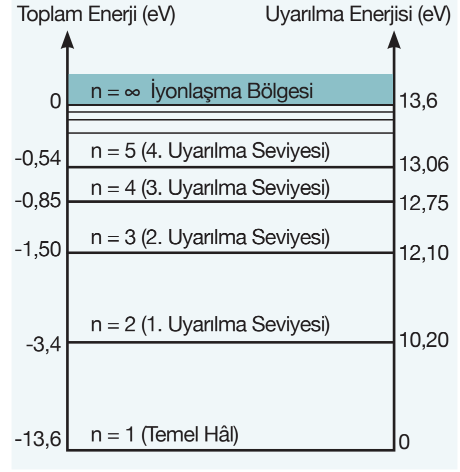
Burada Rydberg (Raydberg) sabiti (R), hidrojen atomuna özgü sabit bir sayıyı ifade eder. R sabiti, hidrojen atomu için yaklaşık 13,6 eV'tur. Bağıntıda Z atom numarasını, n yörünge numarasını (n = 1, 2, 3, ...) gösterir. Elektron üst yörüngelere çıktıkça, formülün başındaki "–" işaretinin belirttiği üzere, elektronun toplam enerjisinin sıfıra yaklaşıp arttığı anlaşılır. Atomun enerjisi, sadece belli değerleri alabildiği için açısal momentum ve atom yarıçapı gibi kuantumludur.



***Şekil 4.8:** Elektronun kuantumlu yörüngelerde dolanma durumu*

Hidrojen Atomunun Enerji Seviyeleri

Şekil 4.9'da hidrojen atomuna ait toplam enerji ve uyarılma enerji seviyeleri eV cinsinden verilmiştir. Şekil 4.9'da temel hâl olarak gösterilen n = 1 seviyesi, elektronun bulunmak istediği en kararlı seviyedir. Elektrona herhangi bir enerji verilmediği takdirde elektron, bu enerji seviyesinde bulunmak ister. Elektronu dışarıdan bir etki ile bulunduğu enerji seviyesinden daha üst enerji seviyesine çıkarmaya **atomun uyarılması** denir. Elektronu üst enerji seviyelerinden birine çıkan atom, **uyarılmış atom** olarak adlandırılır. Atomun uyarılması için gereken enerjiye **uyarılma enerjisi** denir. Elektronun atomdan koparılıp serbest hâle getirilmesi olayına **iyonlaşma** denir. Atomu iyonlaştırmak başka bir deyişle elektronu serbest hâle getirmek için temel hâlde bulunan elektrona toplam enerjisi kadar enerji verilmelidir. Bu enerjiye **iyonlaşma enerjisi** denir. Şekil 4.9 incelendiğinde hidrojen atomunu iyonlaştırmak için elektrona 13,6 eV büyüklüğünde enerji verilmesi gerektiği görülür. Enerji bağıntısındaki "-" işareti elektronunun çekirdeğe bağlılığını gösterir. Elektronun toplam enerjisi, ayrıca elektronunun atoma **bağlanma enerjisi** olarak tanımlanır.

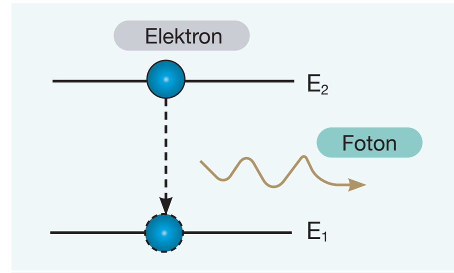


***Şekil 4.9:** Hidrojen atomunun toplam enerji ve uyarılma enerji seviyeleri*

3. Varsayım: Uyarılmış elektron, Şekil 4.10'da gösterildiği gibi üst enerji seviyesinden herhangi bir alt enerji seviyesine geçiş yaptığında iki enerji seviyesi arasındaki enerji farkına eşit enerjide bir foton yayınlanır. Bu olaya **ışıma** denir. Bu durumda fotonun enerjisi, frekans (f) ve dalga boyuna (λ) bağlı olarak şu şekilde ifade edilir:

$$E_{foton} = E_2 - E_1 = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Burada c ışık hızını, h Planck sabitini gösterir.



***Şekil 4.10:** Hidrojen atomunda ışıma modeli*

SORU 1

Bohr atom modeline göre elektron, uyarılma sonucunda kendi bulunduğu yörüngeden üst yörüngelere sıçrama yapabilir.

Temel hâlde bulunan elektronun üst yörüngelerden birine çıkması sonucunda

a) elektronun açısal momentumu,

b) atom yarıçapı,

c) atomun toplam enerjisi,

ç) elektronun çizgisel hızı,

d) elektronun çizgisel momentumu

nasıl değişir? Gerekçeleriyle açıklayınız.

ÇÖZÜM

a) Elektronun açısal momentumu $L = n \cdot \frac{h}{2\pi}$ bağıntısı ile ifade edilir. Bağıntıdaki yörünge numarası (n) arttıkça elektronun açısal momentumu artar.

b) Tek elektronlu atomlarda elektronun çekirdeğe olan uzaklığı, atom yarıçapını gösterir. Atom yarıçapı $r = a_0 \cdot \frac{n^2}{Z}$ bağıntısı ile ifade edilir. Bağıntıdaki yörünge numarası (n) arttıkça atom yarıçapı artar.

c) Atomun toplam enerjisi $E = -R \cdot \frac{Z^2}{n^2}$ bağıntısı ile ifade edilir. Bağıntıdaki yörünge numarası (n) arttıkça elektronun toplam enerjisi artar.

ç) Bohr, açısal momentumun klasik fizikteki gibi $L = m \cdot \vartheta \cdot r$ bağıntısı ile hesaplanabileceğini düşünmüştür. Açısal momentumun korunumu ilkesinden dolayı çekirdekten uzaklaştıkça elektronun çizgisel hızı azalır.

d) Elektronun çizgisel hızı azaldığı için klasik fizikteki $P = m \cdot \vartheta$ bağıntısına göre çizgisel momentumu da azalır.

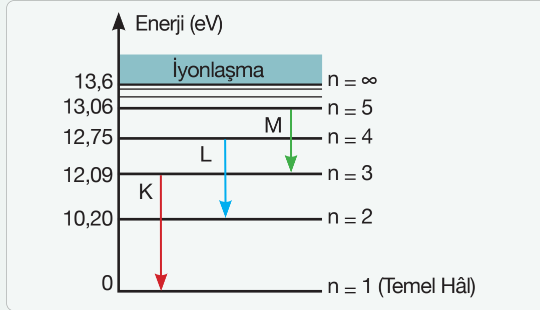
UYGULAMA » 5

Hidrojen atomuna dışarıdan bir etki uygulandığında kararlı yörüngede bulunan elektronun yörünge değiştirmesi neticesinde kinetik enerjisinin azaldığı gözlemleniyor.

Bu durumda Bohr atom modeline göre
a) elektronun açısal momentumu,
b) atomun toplam enerjisi,
c) elektronun çekirdekten uzaklığı
nasıl değişmiştir? Gerekçeleriyle yazınız.

SORU 2

Şekilde hidrojen atomuna ait uyarılma enerji seviyeleri verilmiştir. Elektron ayrı ayrı iki yörünge alta indiğinde atom K, L ve M ışımalarını yapmaktadır.



a) K, L ve M ışımaları sırasında açığa çıkan fotonların enerjileri sırasıyla E_K, E_L ve E_M'dir.
Buna göre enerjileri büyüklüklerine göre sıralayınız.

b) K, L ve M ışımalarının frekansları sırasıyla f_K, f_L ve f_M'dir.
Buna göre ışıma frekanslarını büyüklüklerine göre sıralayınız.

c) K, L ve M ışımalarının dalga boyları sırasıyla λ_K, λ_L ve λ_M'dir.
Buna göre ışıma dalga boylarını büyüklüklerine göre sıralayınız.

ÇÖZÜM

a) Işıma enerjileri, atomun iki enerji seviyesi farkı kadar olur.

$E_K = 12,09 - 0 = 12,09$ eV

$E_L = 12,75 - 10,20 = 2,55$ eV

$E_M = 13,06 - 12,09 = 0,97$ eV

Bu durumda $E_K > E_L > E_M$ olur.

b) $E = h \cdot f$ bağıntısına göre ışıma enerjileri ile frekans doğru orantılı olarak değişir.

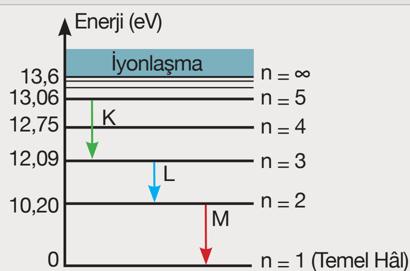
Bu durumda $f_K > f_L > f_M$ olur.

c) $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ bağıntısına göre ışıma enerjileri ile dalga boyu ters orantılı olarak değişir.

Bu durumda $\lambda_M > \lambda_L > \lambda_K$ olur.

UYGULAMA » 6

Hidrojen atomuna ait uyarılma enerji seviyeleri şekilde verilmiştir. Uyarılmış elektron 5. enerji seviyesinden temel hâle geçerken atom, şekilde gösterilen K, L ve M ışımalarını yapıyor.



a) K, L ve M ışımalarında açısal momentum değişimleri L_K, L_L ve L_M'dir.
Bohr atom modeline göre açısal momentum değişimlerini büyüklüklerine göre sıralayınız.

b) K, L ve M ışımaları sırasında açığa çıkan fotonun enerjileri sırasıyla E_K, E_L ve E_M'dir.
Buna göre enerjileri büyüklüklerine göre sıralayınız.

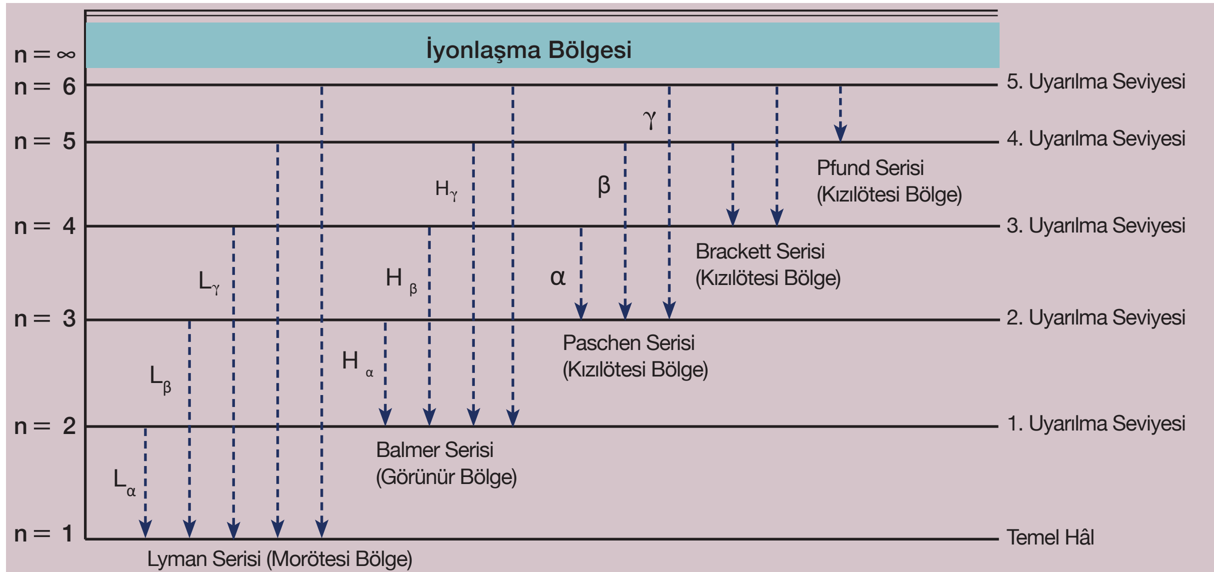
UYGULAMA » 7

Bohr atom teorisi, diğer atom teorileri ile açıklanamayan veya onların eksik bıraktığı kısımlara dair çözümler getirmiştir. Ayrıca atomun anlaşılmasına ilişkin yeni yaklaşımlar sunmuştur.

Bohr atom teorisinin, atomun doğasının anlaşılmasına dair geliştirdiği yeni çözümleri yazınız. Bilimin sürekli geliştiğini göz önünde bulundurarak yeniliklerin bilim dünyasına nasıl bir katkısı olduğu ile ilgili düşüncelerinizi paylaşınız.

4.1.2. Atomun Uyarılma Yolları

Elektronun, bulunduğu enerji seviyesinden daha üst enerji seviyesine çıkarılması atomun uyarılması anlamına gelir. Uyarılmış atomlarda elektronların, bulunduğu enerji seviyesindeki yörüngeden daha alt enerji seviyesindeki yörüngelere geçişinde yaptıkları ışımalar **spektrum çizgileri** olarak adlandırılır. Spektrum çizgilerinin aynı seviyeye inmesi **spektrum serisini** oluşturur. Uyarılan elektron, bir üst enerji seviyesinden kendi enerji seviyesine 10^{-8} saniyede geri döner ve dönerken spektrum çizgilerinde görüldüğü gibi ışıma yapar. Atom, ışıma sonucunda dışarıya foton yayınlar. Şekil 4.11'de verilen spektrum serileri, hidrojen atomunu inceleyip ışınımlara ait spektrum çizgilerini keşfeden bilim insanlarının adlarıyla anılır. Spektrum serilerinden bazıları şunlardır:



***Şekil 4.11:** Hidrojen atomunda görülen spektrum serilerine ait bazı çizgiler*

Lyman (Liman) Serisi: Uyarılmış bir elektron, yüksek enerji seviyelerinden temel hâle (n = 1) geçtiğinde oluşan spektrum serisidir. Bu ışınımda morötesi ışınlar yayılır.

Balmer (Balmır) Serisi: Uyarılmış bir elektron, yüksek enerji seviyelerinden 1. uyarılma seviyesine (n = 2) geçtiğinde oluşan spektrum serisidir. Bu ışınımda görünür ışınlar yayılır. İlk gözlemlenen spektrum serisidir.

Paschen (Paşen) Serisi: Uyarılmış bir elektron, yüksek enerji seviyelerinden 2. uyarılma seviyesine (n = 3) geçtiğinde oluşan spektrum serisidir. Bu ışınımda kızılötesi ışınlar yayılır.

Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda uyarılmış bir elektronun yüksek enerji seviyelerinden 3 ve 4. uyarılma seviyesine geçtiğinde oluşan spektrum serileri gözlemlenmiştir. Uyarılmış bir elektronun 3. uyarılma seviyesine (n = 4) geçtiğinde oluşan spektrum çizgileri Brackett (Braket) serisi, 4. uyarılma seviyesine (n = 5) geçtiğinde oluşan spektrum çizgileri ise Pfund (Fund) serisi olarak adlandırılmıştır.

1. Atomların Isıyla Uyarılması

Isıtılan bir atomun elektronları uyarılır. Elektronlar üst enerji seviyelerine çıktığında atom kararsız hâle gelir. Elektronlar ise kararlı hâle (temel hâl) geçmek ister. Bu nedenle atom, aldığı ısı enerjisini ışın şeklinde dışarıya atar. Günlük hayatta bir demirin, çeliğin veya başka metallerin ısıtıldığında renk değiştirdiğini görmüşsünüzdür. Metaller, ısıtıldığında enerjisini ışıma yoluyla sürekli spektrum yaparak atabilir. Eğer elektromanyetik ışıma, görünür bölgede gerçekleşirse bu ışınlar gözlemlenebilir. Görsel 4.6'da demirin ısıtılması sonucunda yaptığı ışınımlar görülmektedir.



Görsel 4.6: *Demirin ısıtılması sonucu gözlemlenen renk değişimi*

2. Atomların Birbiriyle Uyarılması

Yüksek sıcaklık ve basınç altında maddeyi oluşturan atomların birbiriyle çarpışma olasılığı artar. Çarpışmadan dolayı elektron, bulunduğu seviyeden üst enerji seviyelerinden birine çıkarsa atom uyarılmış olur. Elektron, temel hâl enerji düzeyine geçtiğinde ışıma yoluyla dışarıya foton yayınlar.

UYGULAMA » 8

a) Farklı elementler, laboratuvarda yapılan alev analiz deneyinde aynı sıcaklık seviyesine kadar ısıtılmakta ve alev renklerinin görselde verildiği gibi elementlerin türüne göre farklılık gösterdiği gözlemlenmektedir.
Işınların rengindeki bu farklılık, elementlerin hangi özelliği ile açıklanabilir? Fikirlerinizi gerekçeleriyle ifade ediniz.



b) Maddenin atomlarının birbiriyle çarpıştırılması sonucunda uyarılma gerçekleşirse elektronların mekanik enerjisinde bir azalma olur.
Atom uyarıldığına göre burada hangi tür çarpışma (esnek çarpışma veya esnek olmayan çarpışma) gerçekleşmiştir? Fikirlerinizi gerekçeleriyle ifade ediniz.

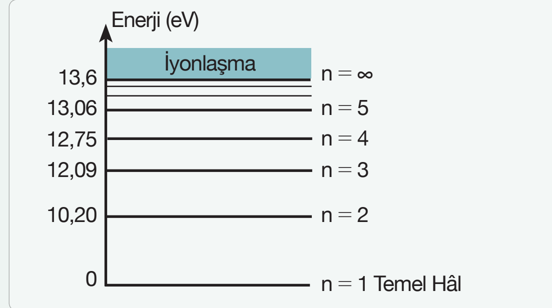
3. Atomun Elektron Bombardımanı ile Uyarılması

Atoma çok sayıda elektron gönderilir ve bu elektronların, atomun elektronları ile çarpışması sağlanır. Atomun elektronla uyarılması bazı şartlara bağlıdır.

- Uyarılmak istenen atomun elektronları ile gönderilen elektronların çarpışmama ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle çarpışma olasılığını artırmak için atoma fazla sayıda elektron gönderilmesi gerekir. Gönderilen elektron, atomun elektronları ile çarpışmazsa aynı enerji ile yoluna devam eder. Atom uyarılmaz.
- Çarpışma gerçekleştiğinde atomun uyarılması, gönderilen elektronların enerjisine bağlıdır. Gönderilen elektronun enerjisi, atomun 1. uyarılma seviyesindeki enerji değerinden daha küçükse gönderilen elektron, atomun elektronu ile çarpışsa bile atom uyarılmaz. Gönderilen elektron, aynı enerji ile dışarı saçılır. Bu olay **esnek saçılma** olarak adlandırılır.
- Uyarılmanın gerçekleşebilmesi için gönderilen elektronların enerjisi, atomun 1. uyarılma düzeyi yani $n = 2$ yörüngesindeki enerji değerine eşit veya ondan daha büyük olmalıdır.
- Gönderilen elektron, atomu uyarması durumunda enerjisinin bir kısmını atomun elektronuna aktarır ve geriye kalan enerji ile atomu terk eder.
- Gönderilen elektron, farklı enerji seviyelerindeki atomun elektronlarını veya aynı seviyedeki birkaç elektronu uyarabilir.
- Gönderilen elektronun enerjisi, atomun iyonlaşma enerji seviyesinden büyükse atom uyarılabilir fakat elektron, atomdan ayrıldığı için alt seviyelere inemeyeceğinden dolayı ışıma gerçekleşmez.

SORU 3

Hidrojen atomuna ait bazı uyarılma enerji seviyeleri şekilde verilmiştir.



a) Hidrojen atomunu uyarmak için gönderilen elektronların enerjileri sırasıyla 9,5 eV, 10 eV, 10,8 eV, 12 eV'tur.
Buna göre hangi enerjili elektronlar atomu uyarabilir?

b) İki hidrojen atomunu iyonlaştırmak için atomlara en az kaç eV'luk enerjiye sahip elektron gönderilmelidir?

ÇÖZÜM

a) Hidrojen atomunun 1. uyarılma seviyesi (n = 2) 10,20 eV olduğu için atoma bu enerji değerine eşit veya bundan daha büyük enerjili elektron gönderilirse atom uyarılabilir.

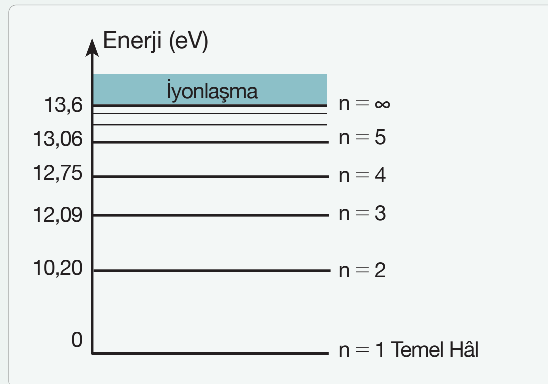
Bu durumda hidrojen atomunu 10,8 eV ve 12 eV enerjili elektronlar uyarabilir. 9,5 eV ve 10 eV enerjili elektronların hidrojen atomunu uyarması mümkün değildir.

b) Hidrojen atomunun iyonlaşma enerjisi 13,6 eV'tur. Bir hidrojen atomunu iyonlaştırmak için atoma en az 13,6 eV enerjili elektron gönderilmesi gerekir.

O hâlde iki hidrojen atomunu iyonlaştırmak için en az 2 · 13,6 = 27,2 eV'luk enerji gerekir.

SORU 4

Hidrojen atomuna ait bazı uyarılma enerji seviyeleri şekilde verilmiştir.



a) Hidrojen atomuna 12,80 eV enerjili elektron gönderildiğinde gönderilen elektron, kaç farklı enerji değeri ile atomu terk edebilir?

b) Hidrojen atomlarına gönderilen elektron, iki hidrojen atomunu uyarıp 0,30 eV'luk kinetik enerji ile ortamdan ayrılıyor.
Buna göre gönderilen elektronun enerjisi en az kaç eV'tur?

c) Hidrojen atomuna 12,5 eV enerjili elektron gönderildiğinde atomun ışıma yapması sonucunda dışarıya salınan fotonların enerjisi kaç eV olabilir?

ÇÖZÜM

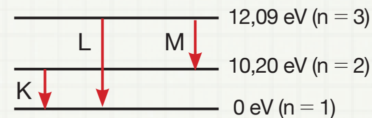
a) Gönderilen elektron, atomun elektronları ile etkileşime girmez ise elektron, aynı enerjiyle yoluna devam eder.
12,80 – 0 = 12,80 eV
Gönderilen elektron ile atomun uyarılması sağlanırsa elektron şu enerji seviyeleri ile dışarı çıkabilir:

12,80 – 12,75 = 0,05 eV
12,80 – 12,09 = 0,71 eV
12,80 – 10,20 = 2,6 eV

Bu durumda elektron 4 farklı enerji değeri ile atomu terk edebilir.

b) Atomları uyarmak için en az 10,20 eV'luk enerji gerekir. İki atomu uyarmak için 10,20 · 2 = 20,40 eV'luk enerji gerekir. O hâlde gönderilen elektronun toplam enerjisi en az 20,40 + 0,30 = 20,70 eV olmalıdır.

c) Gönderilen elektron, 12,5 eV'tan daha büyük enerji seviyelerine atomu uyaramaz. Atom, 12,09 eV enerji seviyesi olan n = 3 yörüngesine kadar uyarılabilir. Bu durumda atom, en fazla üç ışıma yapabilir.



$E_K = 10,20 - 0 = 10,20$ eV
$E_L = 12,09 - 0 = 12,09$ eV
$E_M = 12,09 - 10,20 = 1,89$ eV

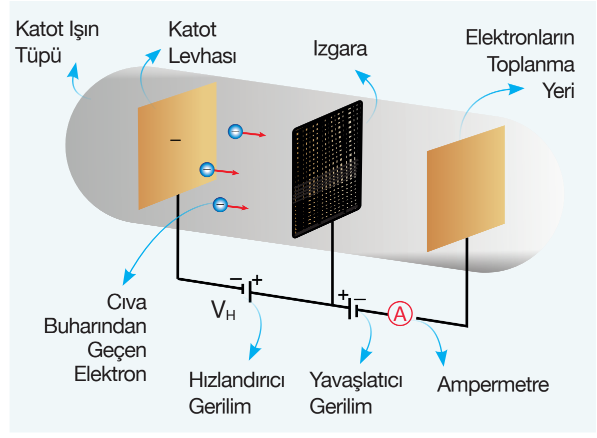
Franck-Hertz Deneyi

Bohr atom teorisinin bilim dünyasına duyurulmasından sonra bilim insanları James Franck (Ceyms Fırank) ve Gustav Ludwig Hertz (Gustav Ludvik Hertz), 1914 yılında kendi isimleri ile anılan Franck-Hertz deneyini gerçekleştirdiler. Bu deneye ait düzenek Şekil 4.12'de verilmiştir.

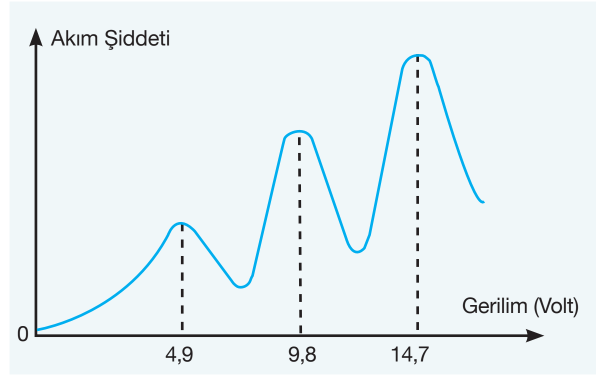
Bu deneyde elektronların, cıva buharının atomları ile çarpıştırılması yoluyla cıva atomunun enerji seviyelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştı. Bunun için katot tüpü, cıva buharı ile dolduruldu. Isıtılan katot levhasından kopan elektronların ızgaradan geçerek anoda çarpması sağlandı. Elektronlara uygulanan gerilim değerlerine bağlı olarak ampermetreden geçen elektrik akımının gösterdiği değerler ölçüldü.

Uygulanan gerilim değeri artırıldıkça akımın da artması bekleniyordu. Fakat bir aşamadan sonra gerilim artırılsa da akımda düşüş olduğu görüldü. Belirli gerilim değerlerinin üzerinde akım şiddetinin inişe geçmesi, elektronların cıva atomları ile çarpıştığını gösteriyordu. Elektronlar, cıva atomlarıyla çarpıştığı için anot levhasına daha düşük enerji ile ulaşıyor veya anoda ulaşamıyordu. Dolayısıyla cıva atomları, bazı enerji değerlerinde ve o enerjinin katları şeklindeki değerlerde elektronlar tarafından uyarılıyordu. Bu durum, cıva atomlarının 1. uyarılma enerji seviyesi hakkında bilgi vermekteydi.

Franck-Hertz deneyinde gerilime bağlı olarak oluşan akım şiddeti (elektron sayısı) grafiği Grafik 4.1'de verilmiştir. Cıva atomlarının 1. uyarılma enerji seviyesinin 4,9 eV değerine çok yakın olduğu belirlendi. Grafikte 4,9 eV ve bu değerin katlarında akımın düşüşe geçtiği görülmektedir.



Şekil 4.12: *Franck-Hertz deney düzeneği*



Grafik 4.1: *Belirli gerilim değerlerinde akımın değişkenlik göstermesi*

UYGULAMA » 9

Cıva atomunun 1, 2 ve 3. uyarılma enerji seviyesi sırasıyla 4,86 eV, 6,67 eV, 8,84 eV'tur.

a) Cıva atomunu uyarmak için gönderilen elektronların enerjisi sırasıyla 4,5 eV, 5 eV, 9 eV'tur.
Buna göre hangi enerjili elektronlar cıva atomunu uyarabilir?

b) Cıva atomuna 8,90 eV enerjili elektron gönderildiğinde gönderilen elektron, hangi enerji değerleri ile atomu terk edebilir?

c) Cıva atomunda ışıma sonucunda dışarıya salınan fotonun maksimum enerjisi 8,84 eV olduğuna göre cıva atomunun kaç farklı ışıma yapacağını belirleyip spektrum çizgilerini gösteriniz.

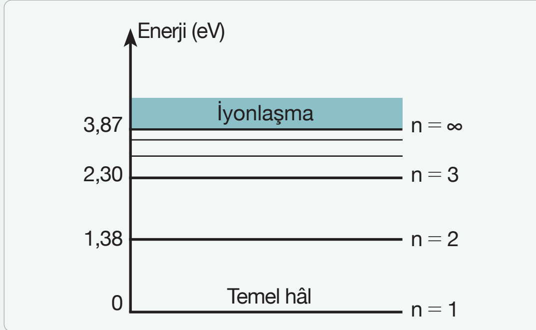
4. Atomun Foton ile Uyarılması

Atoma gönderilen çok sayıda fotonun, atomun elektronları ile çarpışması sağlanarak atom uyarılabilir. Atomun fotonla uyarılması bazı şartlara bağlıdır.

- Atomun foton ile uyarılabilmesi için fotonun enerjisinin atomun enerji seviyelerinden birine eşit olması gerekir. Örneğin 2. uyarılma enerji seviyesi 6,67 eV olan cıva atomuna 7 eV enerjili foton gönderilirse atom uyarılmaz. Elektronları bu enerji seviyesine uyaracak foton, 6,67 eV enerji değerinde olmalıdır.
- Foton, atomu uyardığında fotonun tüm enerjisi atom tarafından soğrulur. Foton ya enerjisinin tamamını verip atomu uyarır ya da atomu uyaramaz ve sahip olduğu enerji seviyesi ile saçılır. Çünkü fotonun enerjisi bölünmez. Bir foton ancak bir elektron uyarabilir.
- Fotonun enerjisi, atomun iyonlaşma enerjisinden büyükse atom iyonlaştırılır ve uyarılmış olur. Örneğin iyonlaşma enerjisi 10,40 eV cıva atomuna 10,50 eV enerjili foton gönderilirse atom iyonlarına ayrılır. Diğer bir deyişle atomdan elektron koparılır. Bu durumda ışıma gerçekleşmez. Fotonda kalan 0,10 eV'luk enerji, atomdan koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Yine fotonun tüm enerjisi soğrulmuş olur.

SORU 5

Sezyum atomunun bazı uyarılma enerji seviyeleri şekilde verilmiştir.



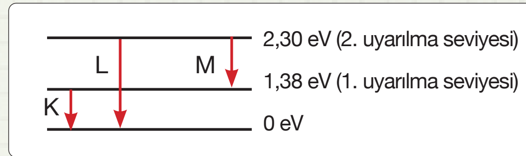
Buna göre

a) Temel hâlde bulunan elektronu, 2. uyarılma enerji seviyesine çıkarmak için sezyum atomuna foton gönderildiğinde atom kaç farklı enerjide ışıma yapabilir?

b) Sezyum atomuna 4 eV enerjili foton gönderilirse fotonun enerjisi hakkında ne söylenebilir?

ÇÖZÜM

a) Sezyum atomunun 2. uyarılma enerji seviyesi 2,30 eV'tur. Bu durumda atoma 2,30 eV enerji değerinde foton göndermek gerekir.



$E_K = 1,38 - 0 = 1,38$ eV

$E_L = 2,30 - 0 = 2,30$ eV

$E_M = 2,30 - 1,38 = 0,92$ eV

Bu durumda atom 3 farklı enerjide ışıma yapabilir.

b) Burada iki ihtimal vardır. Birincisi sezyum atomuna 4 eV enerjili foton gönderilirse atom iyonlaşabilir. İyonlaşma durumunda fotonun enerjisi soğrulur. Fotonun enerjisi kalmaz. İkincisi atom iyonlaşmaz, foton 4 eV enerji ile saçılır.

UYGULAMA » 10

Sezyum atomunun 1. uyarılma enerjisi, 2. uyarılma enerjisi ve iyonlaşma enerjisi sırasıyla 1,38 eV, 2,30 eV ve 3,87 eV'tur.

I. 2,20 eV enerjili elektron
II. 2,28 eV enerjili foton
III. 3,30 eV enerjili elektron
IV. 3,80 eV enerjili foton

Temel hâlde bulunan sezyum atomu yukarıda verilenlerden hangileri ile uyarılabilir?

UYGULAMA » 11

Gönderilen elektron ve foton, atomun elektronları ile etkileşirse atom uyarılabilir. Sezyum atomlarına aynı enerjiye sahip bir foton ve bir elektron gönderilerek atomun uyarılma durumu incelenmektedir.

Gönderilen elektron veya fotonun, atomun elektronları ile çarpıştığını varsayarak aşağıdaki durumları tartışınız.

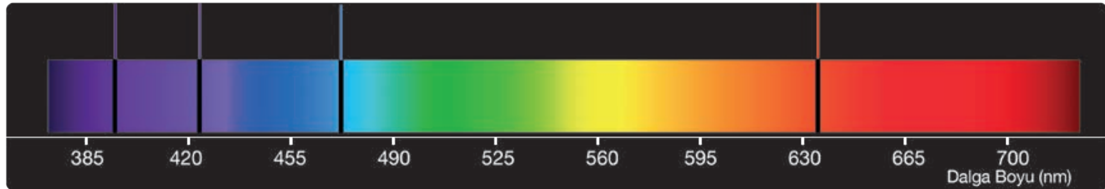
a) Atomun iyonlaşma enerji seviyesinin altında bir enerji ile gönderilen foton ile temel hâlde bulunan atomun elektronu uyarılıyor.
Ardından sezyum atomuna fotonla aynı enerjiye sahip elektron gönderilirse atom uyarılabilir mi?

b) Atomun iyonlaşma seviyesinin altında bir enerji ile gönderilen elektron ile temel hâlde bulunan atom uyarılıyor ve atomun ışıma yaparak kararlı hâle geçtiği gözlemleniyor.
Ardından sezyum atomuna elektronla aynı enerjiye sahip foton gönderilirse atom uyarılabilir mi?

4.1.3. Modern Atom Teorisi

Bohr atom teorisinin bilim dünyasına katkılarından bazıları ve bugün için geçerliliğini koruyan yaklaşımları şu şekilde sıralanabilir:

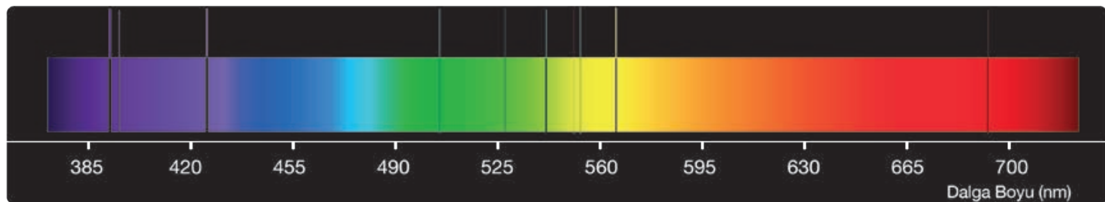
- Kuantum kavramı ilk kez Bohr atom teorisiyle bilim dünyasına duyurulmuştur.
- Tek elektronlu atomlarda (hidrojen, lityum iyonu, helyum iyonu vb.) oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.
- Elektronların; açısal momentumunun, enerjisinin ve yörünge yarıçapının rastgele değil, kuantumlu yapıya işaret ederek kesikli değer alabileceğini ortaya koymuştur.
- Hidrojen atomuna ait spektrum ışımalarında elde edilen veriler, geçerliliğini hâlâ korumaktadır. Hidrojen atomuna ait görünür bölgede oluşan spektrum çizgileri Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13: *Hidrojen atomuna ait görünür bölgede oluşan spektrum çizgileri (temsilî)*

Daha önce açıklanamayan birçok konuyu çözüme kavuşturmasına karşın Bohr atom teorisinin yetersiz kaldığı durumlar da vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Elektronların kendi arasındaki etkileşim dikkate alınmadığından birden fazla elektronu bulunan atomların davranışını açıklayamamaktadır. Çok elektronu olan cıva atomuna ait görünür bölgede oluşan spektrum çizgileri Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14: *Cıva atomuna ait görünür bölgede oluşan spektrum çizgileri (temsilî)*

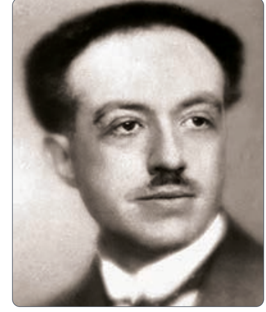
- Elektronların sadece tanecik özelliği dikkate alınmış, dalga özelliği göz ardı edilmiştir.
- Spektrum çizgilerinin ayrıntılı gözlemi yapılmamıştır. Tek elektronlu atomlarda bazı çizgilerin daha parlak olması, spektrum çizgileriyle birlikte oluşan alt spektrum çizgilerinin varlığı bu model ile açıklanamamaktadır.

Bohr atom modelinin bazı konuları açıklamakta yetersiz kalması, yeni bir atom teorisinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Yeni atom teorisi, bir anda ve bir bilim insanının çalışmalarıyla değil, zamanla ve birçok bilim insanının katkılarıyla oluşmuştur. Louis Victor de Broglie (Lui Viktor De Broli), Werner Heisenberg (Verner Hayzenberg), Erwin Schrödinger (Ervin Şrödinger) gibi önemli bilim insanlarının çalışmalarıyla şekillenen bu teori, **modern atom teorisi** olarak isimlendirilmiştir. Bugün de geçerliliğini koruyan modern atom teorisi, Bohr atom modelinin açıklayamadığı birçok konuda yeni çözüm önerilerinde bulunmuştur.

Modern atom teorisinin ortaya çıkmasıyla birlikte insanların hayatını kolaylaştıran birçok buluşa imza atılmıştır. Sağlıkta teşhis ve tedavi, farklı bilim alanlarında araştırma ve tespit için kullanılan ESR (Elektron Spin Rezonans); tıpta teşhis ve tedavi için kullanılan MR (Manyetik Rezonans) ve PET (Pozitron Emisyon Tomografisi); endüstri, tıp, mühendislik gibi birçok alanda kullanılan lazer ışınları bu buluşlardan bazılarıdır. Ayrıca atom fiziği sayesinde geliştirilen nanoteknoloji, yarı iletken fiziği, süper iletkenlik gibi günlük yaşamda yer alan teknolojik uygulamalar ve cihazlar 6. ünitede ele alınacaktır.

Louis Victor de Broglie'nin Modern Atom Teorisine Katkıları

Işığın elektromanyetik dalga özelliği anlaşıldıktan sonra Louis Victor de Broglie (Görsel 4.7), parçacığa bir dalganın eşlik ettiğini belirten ve kendi adıyla anılan bir hipotez öne sürdü. Bu hipoteze göre kütlesi ve hızı olan her parçacığa momentumu ile ters orantılı olarak değişen dalga boyuna sahip bir dalga eşlik eder. Bu dalgalar, daha sonra **de Broglie dalgası** olarak adlandırılmıştır. Louis Victor de Broglie'nin 1924 yılında öne sürdüğü parçacığa eşlik eden dalga hipotezi, ilk zamanlarda bilim çevreleri tarafından kabul görmemiş, daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarla benimsenmeye başlanmıştır. Elektronlara bir dalganın eşlik ettiğini ispatlamasının ardından de Broglie, 1929 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür.



Görsel 4.7: *Louis Victor de Broglie*

ARAŞTIRMA

Louis Victor de Broglie'nin öne sürdüğü yaklaşımın hâlen hipotez olarak anılmasının sebebi sizce ne olabilir? Araştırınız. Araştırma sonuçlarından hareketle görüşlerinizi paylaşınız.

Werner Heisenberg'in Modern Atom Teorisine Katkıları

Werner Heisenberg (Görsel 4.8), bir parçacığın hem momentumunun hem de konumunun aynı anda tam doğrulukla ölçülemeyeceği şeklinde ifade edilen bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşım, **Heisenberg Belirsizlik İlkesi** olarak adlandırılmaktadır. Heisenberg, elektronların hem hızının hem de yerinin aynı anda hassas bir şekilde belirlenemeyeceği sonucuna ulaşmıştır. Heisenberg, kuantum mekaniğine yaptığı katkılardan dolayı 1932 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür.



Görsel 4.8: *Werner Heisenberg*



Görsel 4.9: *Erwin Schrödinger*

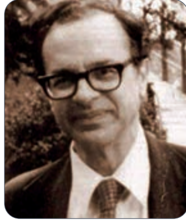
Erwin Schrödinger'in Modern Atom Teorisine Katkıları

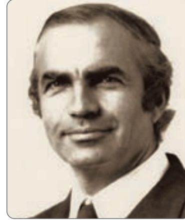
Erwin Schrödinger (Görsel 4.9), de Broglie ve Heisenberg'in ortaya koyduğu görüşler; elektronların kesin yörüngeler üzerinde hareket ettiği düşüncesinin doğru olmadığını bilim dünyasına kabul ettirmiştir.

Bu durumda elektronların yerinin nasıl belirleneceği bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Erwin Schrödinger, de Broglie dalgası hipotezinden yararlanarak elektron gibi küçük parçacıkların hareketini tanımlayan denklemler geliştirmiştir. Bu denklemler, elektronların bulunma olasılığı yüksek yerleri belirleme imkânı sağlamıştır. Ona göre elektronlar; kesin dairesel yörüngelerde değil, atomun çevresinde, orbital adı verilen yerlerde hareket etmektedir. Elektrona bir dalga eşlik ettiği için elektronun, dalganın olduğu yerde bulunma ihtimali daha yüksektir. Elektronun bulunma ihtimali olan yeri belirleyen bu dalgalara **olasılık dalgası** denir. Erwin Schrödinger'in, elektronların hareketini ve bulunma olasılığı yüksek yerleri açıklamak için kullandığı denklemlere **Schrödinger dalga denklemleri** denir. Günümüzde elektronların yeri ve hareketleri, kuantum sayılarıyla ifade edilmektedir. Kuantum sayıları, Schrödinger dalga denklemlerinin sonuçlarından biridir.

Ülkemizde Atom Fiziği Konusunda Çalışma Yapan Bazı Bilim İnsanları

Ülkemizde atom fiziği konusunda çalışma yapan bilim insanlarına Feza Gürsey, Asım Orhan Barut ve Behram N. Kurşunoğlu örnek gösterilebilir (Görsel 4.10). Her üç bilim insanımız da atom fiziğine katkıları nedeniyle TÜBİTAK Bilim Ödülü'ne layık görülmüştür.


Feza Gürsey


Asım Orhan Barut


Behram N. Kurşunoğlu

***Görsel 4.10:** Atom fiziğine katkı sağlayan Türk bilim insanları*

Modern Atom Teorisinin Genel Özellikleri

1. Elektronların yerleri tam olarak belli değildir, sadece bulunma ihtimalinin yüksek olduğu bölgeler belirlenebilir ve bu bölgelere **orbital** denir. Bu bölgeler **elektron bulutu** olarak da adlandırılır.
2. Atomdaki elektronların dağılımı ve bulunabileceği enerji düzeyleri kuantum sayısıyla ifade edilir. Kuantum sayıları şu şekilde tarif edilir:
   - **Baş Kuantum Sayısı (n):** Elektronun bulunma olasılığının yüksek olduğu kabuk bölgesini gösterir (n = 1, 2, 3, 4 için sırasıyla K, L, M, N kabuğu). Bohr atom modeline göre yörünge numarasıdır. Her kabuğun alacağı maksimum elektron sayısı bellidir.
   - **Açısal Momentum Kuantum Sayısı (ℓ):** Orbitalin türünü ve biçimini (s, p, d, f) gösterir. Örneğin açısal momentum; s, p, d, f orbitalleri için sırasıyla ℓ = 0, 1, 2, 3 değerlerini alır.
   - **Manyetik Kuantum Sayısı (m_ℓ):** Manyetik alandaki orbitalin uzaydaki yönelimini gösterir. Örneğin 2. yörünge p orbitali için m_ℓ = -1, 0, 1 değerlerini alır.
   - **Spin Kuantum Sayısı (m_s):** Elektronun dönme yönünü gösterir (elektronlar için m_s = -1/2 ve m_s = + 1/2).
3. Elektronların yörüngeleri, çekirdeğe olan uzaklıkları, açısal momentumları ve enerjileri kuantumludur.
4. Elektronlar hem parçacık hem dalga özelliği gösterir. Maddenin parçacık ve dalga özelliği aynı anda belirlenemez.
5. Elektronları üst enerji seviyelerine çıkarmak için onlara iki enerji seviyesi arasındaki enerji farkına eşit değerde enerji verilmelidir.
6. Işıma spektrumu, dış manyetik alanın etkisi altında incelendiğinde bazı spektrum çizgilerinin alt spektrum çizgilerine ayrıştığı görülür.

ARAŞTIRMA

Aşağıda verilen konuları araştırınız. Ulaştığınız verileri sınıfta sunum yaparak arkadaşlarınızla paylaşınız.

1. Feza Gürsey, Asım Orhan Barut ve Behram N. Kurşunoğlu'nun atom fiziğine katkıları ve çalışmaları
2. Modern atom teorisinin öncülük ettiği teknolojilerin günlük yaşantınıza katkıları

4.2. BÜYÜK PATLAMA VE EVRENİN OLUŞUMU



Anahtar Kavramlar

- Büyük Patlama
- Alt Parçacık
- Antimadde



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde büyük patlama teorisine göre evrenin oluşumu, genişlemesi- ve Hubble Yasası üzerinde durulacaktır. Ayrıca standart modele göre atom altı parçacıklar, atom altı parçacıkların özellikleri ve bu modelin oluşumuna katkı sunan bilim insanlarından bahsedilecektir. Dört temel kuvvet, madde-nin oluşum süreci ve madde ile antimadde kavramları verilecektir.



EDWİN HUBBLE VE HUBBLE UZAY TELESKOBU



Hubble Uzay Teleskobu, ismini ünlü astronom Edwin Hubble'dan [Edvin Habıl (1889-1953)] almıştır. Hubble, yaşamının büyük bir bölümünü gözlemevinde çalışarak geçirmiştir. Edwin Hubble, galaksilerin birbirinden uzaklaştığını yani evrenin genişlemekte olduğunu bulmuş, büyük patlama teorisinin temellerini atmıştır. Genişleyen evren bulgusu, astronominin ve özellikle kozmolojinin büyük bir gelişim göstermesinde rol oynamıştır.

Astronomiye çok büyük katkılar sağlayan Hubble Uzay Teleskobu, yaklaşık 13,2 m boyunda, 11,1 ton ağırlığında ve 4,2 m (en geniş yeri) çapındadır. 1990 yılının Nisan ayında Discovery uzay mekiği ile uzaya fırlatılmıştır. Hubble Uzay Teleskobu, 1,5 milyondan fazla gözlem yapmış, Hubble Uzay Teleskobu'nun keşifleri hakkında 19 binden fazla makale yayımlanmıştır. Sadece Güneş sistemini değil, Güneş sisteminin ötesini de gözlemlemiş ve evrenin genişleme hızı hakkında veriler elde etmiştir. Uzak galaksilerin birbirine uzaklığını hesaplamış, kara deliklerin kanıtlarını ve Güneş'e benzer yıldızları araştırmıştır. Yıldız doğum bölgelerinin merkezlerini, gaz ve toz bulutlarının çarpması ile oluşan dalgaları incelemiştir. Bu gözlemleriyle evrenin yaşının doğru hesaplanmasına yardımcı olmuştur.

Evrenin uzak bölgelerinden gelen ışığın Dünya'ya ulaşması milyarlarca yıl sürebildiği için Hubble Uzay Teleskobu, Dünya'nın oluşumundan önceki gök cisimlerinin görüntülerini de yakalamıştır.



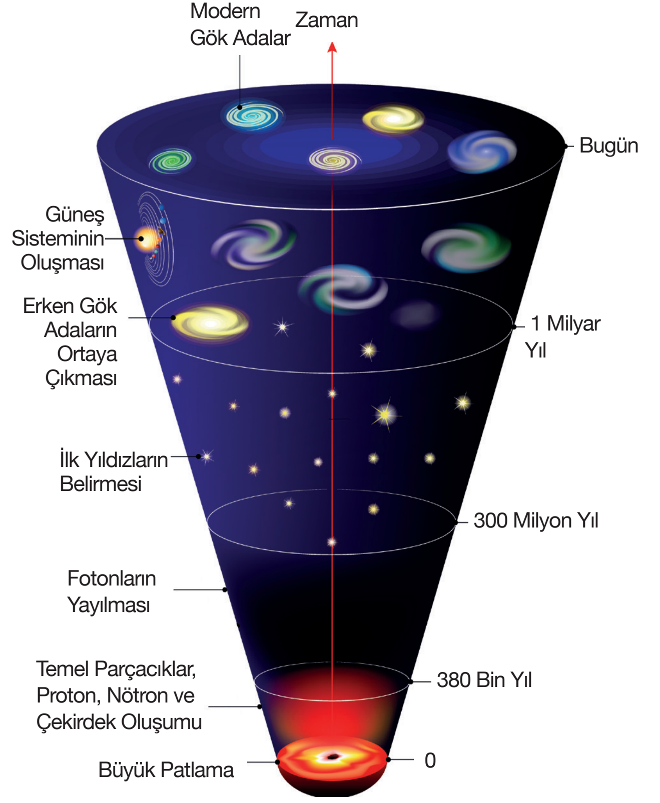
HAZIRLIK SORULARI

1. **Dünya'nın yörüngesine yerleştirilen uzay teleskoplarının yakaladığı ışınların yaşı, Dünya'nın yaşından büyük olabilir mi? Tartışınız.**
2. **Dünya'dan yapılan gözlemlerde bir yıldızın ışık renginin kırmızıya kaydığının gözlemlenmesi evren hakkında nasıl bir bilgi sunabilir?**
3. Evrenin yaşının yaklaşık 13,8 milyar yıl olduğu öngörülmektedir. Bununla birlikte teleskoplar ile yapılan gözlemler sonucunda evrenin çapının yaklaşık 93 milyar ışık yılı olduğu tespit edilmiştir. **Gözlemlenen evrenin çapının, yaşından büyük olması hakkında nasıl bir değerlendirme yaparsınız?**

4.2.1. Büyük Patlama Teorisi

Üzerinde yaşadığımız Dünya da dâhil olmak üzere her türlü astronomik cismi (gök adalar, gezegenler, yıldızlar, tozlar vb.) içine alan madde ve enerjinin tamamı evreni oluşturur. Peki, evrenin sınırları neresidir? Evrenin sınırlarının olup olmadığı hakkında henüz bir bilgi yoktur. Günümüz teknolojisi ile (teleskoplar, uydular vb.) evrenin görülebilen kısmı yani görünür evrenin çapı, şu an için ışığın yaklaşık 93 milyar yılda katedebileceği mesafe olarak tahmin edilmektedir. Evrenin boyutları muhtemelen görünür evrenden çok daha büyüktür. Evrenin başlangıcı, oluşumu ve geleceği birtakım teorilerle anlaşılmaya çalışılmaktadır.

Büyük patlama teorisi; evrenin aşırı yoğun, sıkıştırılmış enerji şeklinde, atomdan küçük ve sıcak bir noktadan meydana geldiğini savunan ve yaygın şekilde kabul gören kozmolojik modeldir. Sonsuz büyüklükteki evrenin büyük patlama ile başladığı fikri 1920 yılında ortaya atılmıştır. Evrenin yaşının, büyük patlamadan günümüze kadar geçen sürenin, yaklaşık 13,8 milyar yıl olduğu düşünülmektedir. Peki, bu patlama evrenin neresinde olmuştur? Bu soru bazı yanılgılara sebep olabilir. Çünkü bu teoriye göre patlayan şey evrenin kendisidir. Patlamanın merkezini veya bir kenarını bulma fikri bu durumda doğru olmaz. Büyük patlama teorisine göre yoğun parçacık ve fotonların soğuması sonucunda yıldızlar ve gök adalar oluşmuş ve evrenin şekli ortaya çıkmaya başlamıştır. Görsel 4.11'de büyük patlamanın zamana bağlı bir tasviri verilmiştir.



***Görsel 4.11:** Büyük patlamanın temsilî modeli*

Evrenin Genişlemesi

Büyük patlamadan sonra evrenin sürekli genişlediği fikri, bütün bilim çevrelerince kabul görmektedir. Büyük patlama ile başlayan bu genişlemenin bir sonu olacak mı? Son bulgular, evrenin sürekli genişlemekte hatta bu genişlemenin hızlanarak gerçekleşmekte olduğunu göstermektedir. Evrenin genişlemesinin sonsuza kadar devam edip etmeyeceği konusu henüz kesinlik kazanmamıştır.

MERAKLISINA BİLİM

1998 yılında evrenin ivmelenerek (hızı artarak) genişlediğini keşfeden Saul Perlmutter (Soul Pörlmadır), Brian Paul Schmidt (Brayn Pol Şimit) ve Adam Guy Riess (Edım Gay Riis) 2011 yılında Nobel Fizik Ödülü ile ödüllendirilmiştir.

Büyük patlama teorisini destekleyen bulgular şunlardır:

1. Doppler Etkisi

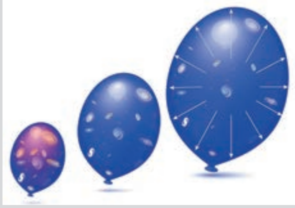
Yapılan gözlemler sonucunda Dünya'dan uzaklaşan gök adaların veya yıldızların renginde bir değişim olduğu belirlenmiştir. Bu durum Doppler etkisi olarak bilinir. Hubble, evrenin genişlediğini Doppler etkisini kullanarak keşfetmiştir. Gök adaların veya gök adaya ait yıldızların Dünya'ya ulaşan ışıklarını inceleyen Edwin Hubble (Görsel 4.12), bu ışıkların kırmızıya kaydığını gözlemlemiştir. Hubble, gözlemleri sonucunda gök adaların uzaklaşma hızlarının Dünya'ya olan uzaklıkları ile doğru orantılı olduğunu bulmuştur. Evrenin genişlediğine dair önemli bir kanıt sunan bu keşif, **Hubble Yasası** olarak bilinmektedir.



***Görsel 4.12:** Edwin Hubble*

ETKİNLİK 1	Süre 15 dk.
Etkinliğin Adı	Genişleyen Evren
Etkinliğin Amacı	Evrenin genişlemesini modelleyebilme.
Araç Gereç	Lastik balon, kalem.

Yönerge: Aşağıda verilen uygulama aşamalarını takip ederek etkinliği gerçekleştiriniz. Etkinliği tamamladıktan sonra "Etkinliğin Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Lastik balonu biraz şişirip kalemle balonun üzerine büyük bir nokta koyunuz.
2. Balonun farklı yerlerine -istediğiniz yerlere- kalem ile küçük noktalar koyunuz.
3. Büyük noktadan farklı uzaklıklarda bulunan iki noktayı belirleyiniz.
4. Noktaları koyduktan sonra görseldeki gibi balonu biraz daha şişiriniz.
5. Balonu her adımda biraz daha şişirerek noktalar arası mesafeleri inceleyiniz.

Etkinliğin Değerlendirmesi

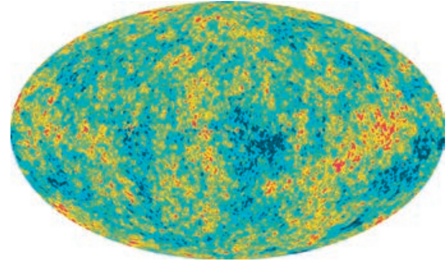
1. Her bir nokta gök ada olarak kabul edilirse noktalar arası mesafelerin artması, evrenin genişlemesi hakkında fikir verir mi? Açıklayınız.

2. Belirlenen iki nokta ile büyük nokta arasındaki mesafe, balon her şişirildiğinde aynı oranda mı arttı? Kontrol ederek açıklayınız. Gözleminizi Hubble Yasası ile ilişkilendiriniz.

3. Siz de balon örneğinde olduğu gibi evrenin genişlemesi ile benzerlik gösteren bir model örneği bulunuz. Bulduğunuz modelleri sınıfta paylaşınız.

2. Kozmik Mikrodalga Art Alan Işıması

Evren, büyük patlamanın ardından öyle sıcak ve yoğundu ki bu sıcaklık ve yoğunluk nedeniyle fotonların enerjisi çok yüksekti. Fotonlar, sürekli atom altı parçacıklarla çarpışıyor; bir araya gelen parçacıkları da çarparak parçalıyordu. Genişledikçe evrenin sıcaklığı ve yoğunluğu azaldı. Böylece fotonların enerji seviyesinde düşüş oldu ve kararlı atomlar oluşmaya başladı. Atomların oluşmasıyla birlikte büyük patlamadan arda kalan fotonlar serbestçe yayılma imkânı buldu. Bu olaylar, evrenin her yerinde meydana geldiği için bu ışınlar, evrenin her yerinden yayılıyordu. 2,7 kelvin değerinde yayılan bu ışınların mikrodalga boyutunda olduğu keşfedildi. Bu yüzden bu ışınlara **kozmik mikrodalga ışınları** denildi. Büyük patlamadan geriye kaldığı düşünülen bu elektromanyetik dalgalarla ilgili teoriler 1948 yılında öne sürüldü. Mikrodalga art alan ışıması, 1964 yılında gözlemlerle tespit edildi. Kozmik mikrodalga art alan ışımasının incelenmesi amacıyla 1989 yılında COBE uydusu, 2001 yılında WMAP uydusu uzaya gönderildi. WMAP uydusu görevine hâlen devam etmektedir. Görsel 4.13'te WMAP uydusunun dokuz yılda çıkardığı kozmik mikrodalga art alan radyasyon haritasındaki renkli kısımlara bakıldığında kozmik ışınların tüm evrene yayıldığı görümektedir.



Görsel 4.13: *WMAP verilerinden oluşturulan evrenin ayrıntılı radyasyon haritası*

ARAŞTIRMA

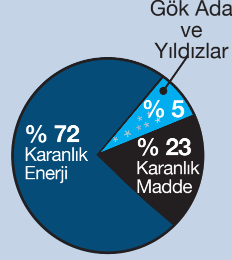
Aşağıda verilen konuları araştırınız ve araştırma sonuçlarını bir sunum hazırlayarak sınıf arkadaşlarınızla paylaşınız.

1. Büyük patlama teorisini destekleyen bilimsel çalışmalar ve bulgular
2. Edwin Hubble'ın çalışmaları

Evren Hakkında Üretilen Farklı Teoriler

Kozmik mikrodalga ışınımın 1960'lı yıllarda keşfedilmesi ile büyük patlama teorisi genel kabul görmüştür. Büyük patlama teorisi dışında evrenin oluşumu ve geleceğini açıklamaya çalışan teoriler de mevcuttur. Örneğin 1930'lu yıllarda ortaya çıkan sabit evren teorisi, evrenin hep aynı kaldığını; salınan evren teorisi, patlamalar sonucunda evrenin çöktüğünü, her çöküş sonrasında tekrar patlamalar olduğunu ve bu sürecin devam ettiğini öngörmektedir. 1960'lı yıllarda dile getirilen açılıp kapanan evren modeli, evrenin önce genişleyip daha sonra büzüldüğünü ve bu döngünün sürekli devam ettiğini ifade eder. 1980'li yıllarda bilim dünyasına sunulan enflasyonist evren teorisi, Dünya gibi evrenin de bir şekli bulunması gerektiğini belirtmiş ve bu şeklin düz olduğunu söylemiştir. Çoklu evren teorisi ise sonlu veya sonsuz birçok evrenin olduğunu öngörmektedir.

MERAKLISINA BİLİM



Evren, sayısız gök ada ve gök adaların içinde sınırsız gezegen ile yıldız barındıran bir yapıdır. Son araştırmalara göre gök ada, gezegenler ve yıldızlar, evrenin yaklaşık %5'lik kısmını oluşturmaktadır.

Evrenin geriye kalan kısmı ise karanlık madde ve karanlık enerjiden ibarettir. Karanlık maddenin gök cisimlerini birbirinden uzaklaştırdığı; karanlık enerjinin, evrenin genişlemesine yol açtığı söylenmektedir. Bu yaklaşımlarla ilgili araştırmalar devam etmektedir.

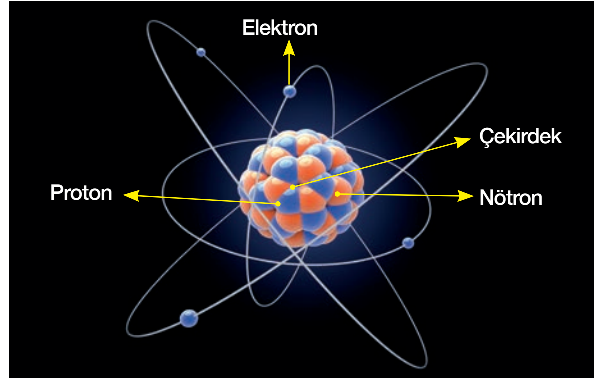
ARAŞTIRMA

Evrenin oluşumu, geleceği ve muhtemel sonu ile ilgili teorileri araştırınız. Teorileri birbiriyle karşılaştırarak bir rapor hazırlayınız. Hazırladığınız raporu sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.2.2. Atom Altı Parçacıklar

1897 yılında elektronun, 1911 yılında çekirdeğin, 1919 yılında protonun, 1932 yılında nötronun keşfinden sonra atomun bu üç parçacıktan oluştuğu düşünülmüştür. Görsel 4.14'te atom için düşünülen model gösterilmiştir. 1960'lı yıllarda yapılan deneylerde proton ve nötron üzerine elektronlar gönderilmiş ve elektronların büyük açılarla saçıldığı gözlemlenmiştir. Bu deney, nükleonların iç yapısında başka parçacıkların olması gerektiğini göstermiştir. Ayrıca yüksüz nötronların manyetik alana tepki göstermesi, nötronun iç yapısında yüklü başka parçacıkların olduğu fikrini desteklemiştir. Bu deneyler sonucunda proton ve nötronun temel parçacık olduğu düşüncesi değişmiş, bunların kuark denilen atom altı parçacıklardan oluştuğu fikri bilim çevrelerince kabul görmüştür.

Sonraki yıllarda yapılan deneylerde parçacıklar, yüksek enerji ile çarpıştırılmış ve birçok atom altı parçacık olduğu gözlemlenmiştir. Parçacık hızlandırıcısı dendiğinde akıllara ilk olarak dünyanın en büyük parçacık fiziği laboratuvarı Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi [CERN (Sörn)] gelmektedir. 1954 yılında on iki ülkenin katılımıyla inşa edilen CERN, dört büyük deney sistemine sahiptir. Görsel 4.15'te 27 km uzunluğundaki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın bir bölümü görülmektedir.



Görsel 4.14: *Nötronun keşfiyle birlikte düşünülen atom modeli*



Görsel 4.15: *Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın bir bölümü*

Yapılan keşiflerin ardından atom altı parçacıkların belli durumlara ve özelliklere göre gruplanması ihtiyacı belirmiştir. Bu gruplama **standart model** olarak isimlendirilmektedir. Standart model, şu ana kadar bulunan parçacıkların yer aldığı ve yeni bulunabilecek parçacıkların eklenebileceği bir modeldir. Standart model, ayrıca bu parçacıkların etkileşimde olduğu kuvvetleri de açıklar. Standart modele göre temel parçacıklar, kuarklar ve leptonlardır. Bir parçacık, başka parçacıklardan oluşmuyorsa **temel parçacık** olarak kabul edilir. Diğer parçacıkların birleşmesiyle oluşmadığı için bu parçacıklara **madde parçacığı** da denir.

MERAKLISINA BİLİM

Dünya üzerinde tahminî olarak binlerce parçacık hızlandırıcısı bulunmaktadır. Parçacık hızlandırıcıları, sadece araştırmalarda kullanılmamaktadır. Örneğin hastanelerde kanser hücrelerini öldürmek amacıyla kullanılan radyoterapi (ışın) tedavi yöntemi, parçacık hızlandırıcısı sayesinde uygulanır. Radyoterapide dokuya yüksek enerjili X ışınları ve gama ışınları gönderilir.

Kuarklar birleşerek hadron grubundaki baryon ve mezonları oluşturur. Standart model, parçacıkları spin durumuna göre fermiyon ve bozon olarak ikiye ayırır. Spin kuantum sayısı kesirli olan (1/2, 3/2,…) parçacıkların genel adına **fermiyon** denir. Spin kuantum sayısı sıfır ya da pozitif tam sayı olan (0, 1,…) ve madde parçacıkları arasındaki etkileşimlere aracılık eden kuvvet taşıyıcılarına ise **bozon** denir. Tablo 4.1'de 12 fermiyon parçacık, 4 etkileşim bozon parçacığı ve Higgs bozonu ile bugün bilinen standart model verilmiştir. Tabloda parçacıkların kütle, yük ve spin değerleri görülmektedir.

Tablo 4.1: Standart Model

TEMEL PARÇACIKLARIN STANDART MODELİ

	FERMİYONLAR			BOZONLAR	
	I. Nesil	II. Nesil	III. Nesil	ETKİLEŞİM BOZONU	
KUARKLAR	Yukarı Kütle 2,3 MeV/c^2 Yük ⅔ Spin ½ u	Tılsım 1,275 GeV/c^2 ⅔ ½ c	Üst 173,07 GeV/c^2 ⅔ ½ t	Gluon 0 0 1 g	Higgs Bozonu 126 GeV/c^2 0 0 H
KUARKLAR	Aşağı 4,8 MeV/c^2 -⅓ ½ d	Acayip 95 MeV/c^2 -⅓ ½ s	Alt 4,18 GeV/c^2 -⅓ ½ b	Foton 0 0 1 γ	
LEPTONLAR	Elektron 0,511 MeV/c^2 -1 ½ e	Müon 105,7 MeV/c^2 -1 ½ μ	Tau 1,777 GeV/c^2 -1 ½ τ	Z Bozonu 91,2 GeV/c^2 0 1 Z	
LEPTONLAR	Elektron Nötrinosu <2,2 eV/c^2 0 ½ ν_e	Müon Nötrinosu <0,17 MeV/c^2 0 ½ ν_μ	Tau Nötrinosu <15,5 MeV/c^2 0 ½ ν_τ	W Bozonu 80,4 GeV/c^2 ±1 1 W	

Parçacıkların Sınıflandırılması

1. Kuarklar

Kuarklar; yükü, kütlesi ve spini olan fermiyon parçacıklardır. Temel parçacık olan kuarklar, standart modele göre altı çeşittir. Kuarklar üç nesil olarak yukarı ve aşağı kuark (u ve d), tılsım ve acayip kuark (c ve s), üst ve alt kuark (t ve b) şeklinde sınıflandırılır. Kuarkların ve antikuarkların elektriksel yük değeri ve sembolleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Her kuarkın bir karşıt parçacığı vardır. Bu parçacıklara **antikuark** denir. Antikuarklar, kuarkı temsil eden harfin üzerine çizgi çekilerek gösterilir ($\overline{u}$ veya $\overline{d}$ gibi). Henüz doğada tek başına bulunan kuark tespit edilmemiştir. Kuarklar, birleşerek hadron grubunda yer alan baryonlar ile mezonları oluşturur.

Hadronlar: Ağır parçacıkların olduğu grubun genel adıdır. Hadronlar, iki grupta toplanır. Üçlü kuarklar, baryonları; ikili kuarklar, mezonları oluşturur.

Tablo 4.2: Standart Modele Göre Kuark ve Antikuarkların Yük Değerleri

Nesil		1	2	3
Kuark	+2/3 e	u Yukarı	c Tılsım	t Üst
Kuark	-1/3 e	d Aşağı	s Acayip	b Alt
Antikuark	-2/3 e	$\overline{u}$ Antiyukarı	$\overline{c}$ Antitılsım	$\overline{t}$ Antiüst
Antikuark	+1/3 e	$\overline{d}$ Antiaşağı	$\overline{s}$ Antiacayip	$\overline{b}$ Antialt

a) Baryonlar

Baryonlar, hadron grubunun en ağır parçacıklarıdır. Üç kuarkın birleşmesiyle oluşur. Bu grubun en çok bilinen ve en hafif parçacıkları proton ve nötrondur. Proton ve nötron, u ve d kuarklarının bir araya gelmesi ile oluşan baryonlardır. Tablo 4.3'te baryonlar ve bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.3: Baryon Ailesi

Baryonlar	Simgesi	Elektrik Yükü (e)	Spini	Kütlesi (MeV/c²)
Proton	(p)	+1	1/2	938,3
Nötron	(n)	0	1/2	939,6
Lambda	(Λ^0)	0	1/2	1115,6
Sigma	(Σ^+, Σ^0, Σ^-)	+1, 0, -1	1/2	1189,4 1192,5 1197,3
Ksi (Xi)	(Ξ^0, Ξ^{-1})	0, -1	1/2	1315 1321
Omega	(Ω^{-1})	-1	3/2	1672

SORU 1

Baryon ailesinden olan nötron, u ve d kuarklarından oluşmaktadır. Baryon ailesi üçlü kuark yapıdadır.

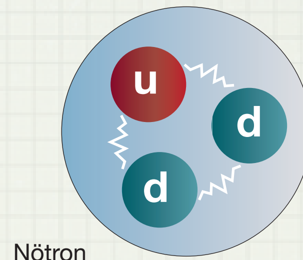
Buna göre nötronun kuarklar ile nasıl modelleneceğini gösteriniz.

ÇÖZÜM

Nötron, yüksüz parçacık olduğundan u ve d kuarkları kullanılıp yük değeri sıfırlanarak modellenebilir.
u kuarkının elektrik yük değeri +2/3, d kuarkının elektrik yük değeri -1/3'tür.

$u + d + d = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$ olarak bulunur.

Bu durumda nötronun bir tane yukarı (u), iki tane aşağı (d) kuarktan oluştuğu sonucuna ulaşılır.

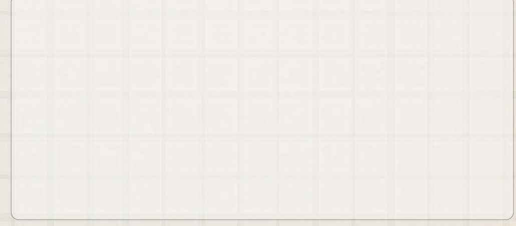


Nötron

UYGULAMA » 1

Baryon ailesinden olan proton, u ve d kuarklarından oluşmaktadır. Baryon ailesi üçlü kuark yapıdadır.

Buna göre protonun u ve d kuarkları cinsinden nasıl modelleneceğini yandaki boş alana çiziniz.



b) Mezonlar

Mezonlar, hadron grubunda yer alan orta ağırlıktaki parçacıklardır. Mezonlar ikili kuark yapıdadır. Bir kuark ile bir antikuarkın birleşimi sonucunda oluşur. Kararsız yapıda olduklarından hemen kaybolurlar. Tablo 4.4'te mezonlar ve bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.4: Mezon Ailesi

Mezonlar	Simgesi	Elektrik Yükü (e)	Spini	Kütlesi (MeV/c^2)
Pion	(π^+, π^0, π^-)	+1, 0, -1	0	139,5 134,9 139,5
Kaon	(K^+, K^0, K^-)	+1, 0, -1	0	493,6 497,6 493,6

SORU 2

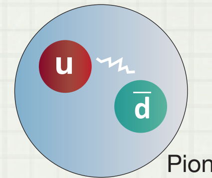
Pion π^+ parçacığının yük değeri +1'dir.

u ve d kuarklarını baz alarak pionun kuark ve antikuark cinsinden modelini çiziniz.

ÇÖZÜM

Pion (π^+) parçacığı bir mezondur. Mezonlar iki kuarktan oluşur. Kuarklardan biri antikuarktır. Yük değeri +1 olduğu için pion (π^+) parçacığı, yukarı kuark (u) ve antiaşağı kuarktan ($\bar{d}$) oluşur. Yukarı kuarkın elektriksel yük değeri +2/3, antiaşağı kuarkın elektriksel yük değeri +1/3'tür.

$u + \bar{d} = \frac{2}{3} + \frac{1}{3} = 1$ olarak bulunur.



2. Leptonlar

Leptonlar; yükü, kütlesi ve spini olan fermiyon parçacıklardır. Temel parçacık olan leptonlar, doğada tek başına bulunabilir. Standart modele göre üç çeşit lepton vardır ve her birinin birer nötrinosu bulunur. Toplam lepton sayısı altıdır. Nötrinolar yüksüz parçacıklardır. Tablo 4.5'te leptonlar ve bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.5: Lepton Ailesi

Leptonlar	Simgesi	Elektrik Yükü (e)	Spini	Kütlesi (MeV/c^2)
Elektron	(e^-)	-1	1/2	0,511
Müon	(μ^-)	-1	1/2	105,7
Tau	(τ^-)	-1	1/2	1784
Elektron Nötrinosu	(ν_e)	0	1/2	< 7.10^{-6}
Müon Nötrinosu	(μ_e)	0	1/2	< 0,3
Tau Nötrinosu	(τ_e)	0	1/2	< 30

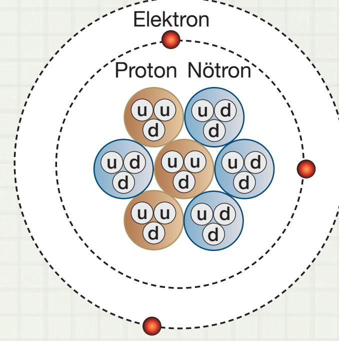
SORU 3

Lityum (Li) atomu; 3 elektron, 3 proton ve 4 nötrondan oluşur.

Lityum atomunun, aşağı (d) ve yukarı (u) kuark sayısını göz önünde bulundurarak temel parçacıklardan oluşan modelini çiziniz.

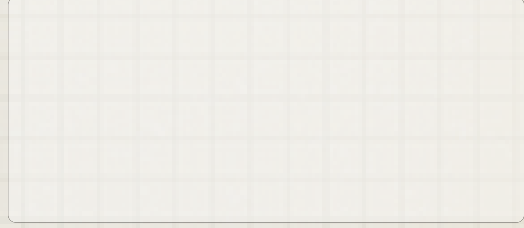
ÇÖZÜM

Elektronlar temel parçacıktır. Kendini oluşturan parçacık yoktur. Proton ve nötron üçer tane kuarktan oluşur. Bu durumda lityum atomu; 7 nükleon (3 proton + 4 nötron), 21 kuarktan oluşur. Çizimde protonlar uud kuarkları, nötronlar udd kuarkları ile merkezde, elektronlar ise katmanlarda gösterilmiştir.



UYGULAMA » 2

Berilyum (Be) atomu; 4 elektron, 4 proton ve 3 nötrondan oluşur.
Berilyum atomunun, aşağı (d) ve yukarı (u) kuark sayısını göz önünde bulundurarak temel parçacıklardan oluşan modelini yandaki boş alana çiziniz.



Doğadaki Dört Temel Kuvvet ve Taşıyıcı Parçacıkları

1. Güçlü (Yeğin) Nükleer Kuvvet

Güçlü nükleer kuvvet, proton ve nötronların çekirdekte bir arada durmasını sağlayan, çekirdeğin dağılmasını engelleyen kuvvettir. İsminden de anlaşılacağı üzere temel kuvvetler içinde en büyük şiddete sahip kuvvettir. Atomun çekirdeğinde yer aldığı için etki mesafesi çok kısadır. Kuarkları birbirine bağlayan güçlü nükleer kuvvetin etkileşim parçacığına **gluon** denir. Gluonlar, spini 1 olan kütlesiz ve yüksüz bozonlardır.

2. Elektromanyetik Kuvvet

Elektromanyetik kuvvet, yüklü parçacıklar arasında oluşur. Bir atomun çekirdeği ile başka bir atomun elektronları arasında bağ kurabildiği gibi sonsuz uzaklıktaki yüklerle de etkileşime girebilir. Bu yüzden etki mesafesi çok uzundur. Elektromanyetik kuvvetin kuvvet taşıyıcısı fotonlardır. **Fotonlar**, spini 1 olan kütlesiz ve yüksüz bozonlardır.

3. Zayıf Nükleer Kuvvet

Zayıf nükleer kuvvet, kararsız atom çekirdeğindeki radyoaktif bozunmalardan, nötrinoların ve leptonların çekirdek ile etkileşiminden sorumlu kısa menzilli bir kuvvettir. Kuarkın türünü değiştirerek nötronun protona dönüşümünü sağlar. Zayıf nükleer kuvvetin taşıyıcıları $\mathbf{W^{\pm}}$ (yüklü) ve $\mathbf{Z^{0}}$ (yüksüz) bozonlarıdır. Spini 1 olan bu bozonların kütlesi oldukça büyüktür.

4. Kütle Çekim Kuvveti

Kütle çekim kuvveti, yıldız ve gezegenler arasında oluşabileceği gibi küçük kütleli cisimler arasında da gözlemlenir. Temel kuvvetler içinde en küçük şiddete sahip kuvvettir. Bununla birlikte etki mesafesi oldukça uzundur. Kütle çekim kuvvetinin oluşmasında görev aldığı düşünülen taşıyıcı parçacığa **graviton** denir. Graviton, henüz deneysel olarak gözlemlenmemiştir.

Abdus Salam (Abdusselam), Sheldon Lee Glashow (Şeldın Li Glaşov) ve Steven Weinberg (Stivın Veinberg) isimli bilim insanları (Görsel 4.16), parçacıkların yüksek enerji düzeylerine ulaştığı durumlarda elektromanyetik kuvvet ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmiştir. Bu bilim insanları, atom fiziğine yaptıkları katkılardan dolayı 1979 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür.


Abdus Salam


Sheldon Lee Glashow

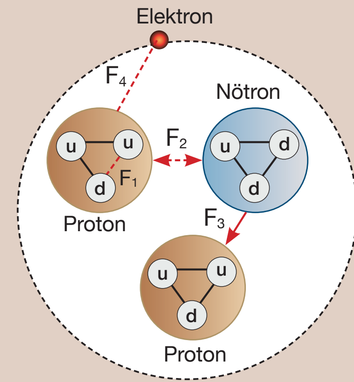

Steven Weinberg

Görsel 4.16: 1979 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşan üç bilim insanı

UYGULAMA » 3

Görselde etkileşim kuvvetlerini gösteren bir model verilmiştir. Kırmızı çizgilerle gösterilen F_1, F_2, F_3, F_4 doğadaki 4 temel kuvveti temsil etmektedir. Bu kuvvetlerle ilgili olarak bazı bilgiler şu şekildedir:

- F_1 kuvveti, kuarkları birbirine bağlar.
- F_2 kuvveti, proton ve nötronun kütlelerinden dolayı birbirini çekmesi sonucunda oluşur.
- F_3 kuvveti, nötronun protona dönüşümüne aracılık eder.
- F_4 kuvveti, proton ile elektron arasındaki etkileşimi gösterir.

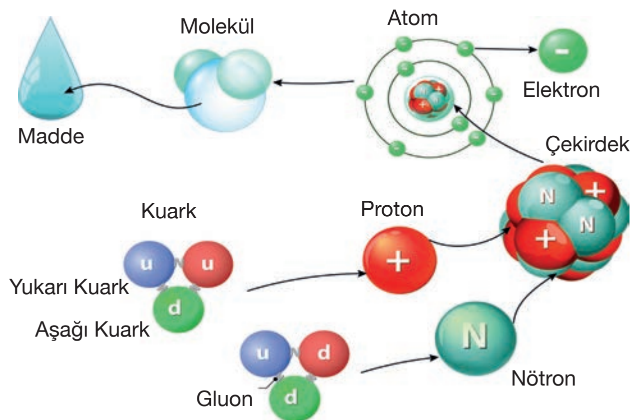


Modeli inceleyerek aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

	F_1 Kuvveti	F_2 Kuvveti	F_3 Kuvveti	F_4 Kuvveti
En Şiddetli Kuvvet				
Menzili Sonsuz Sayılan İki Kuvvet				
Kuvvetlerin Taşıyıcı Parçacıkları				

4.2.3. Maddenin Oluşum Süreci

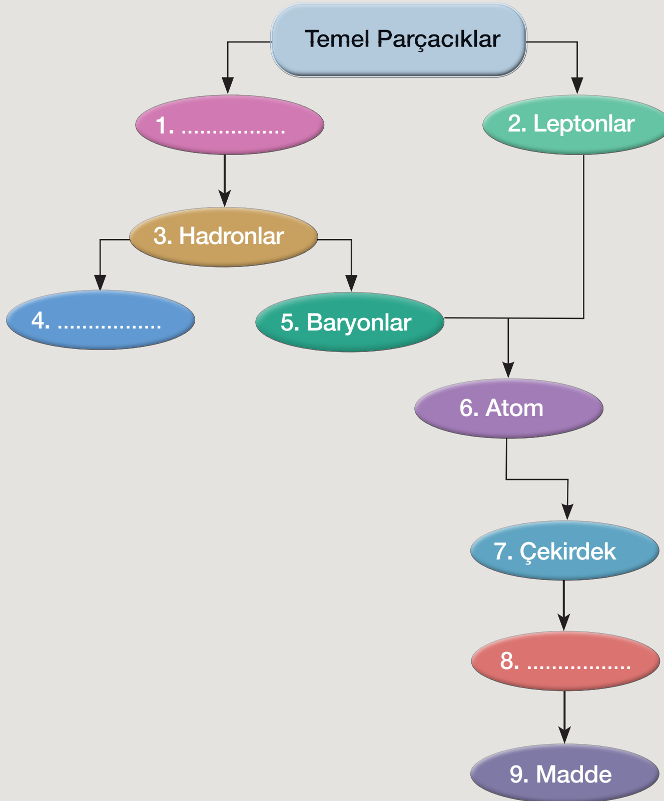
Maddenin oluşumunu anlamak için evrenin başlangıç anını anlamak gerekir. Büyük patlama teorisine göre başlangıç anı, büyük patlamanın gerçekleştiği andır. Atomdan küçük sıkışmış enerjinin patlamasıyla madde oluşum süreci başlamıştır. Patlamadan sonra her yer atom altı parçacıklarla yani kuark, antikuark, elektron ve diğer parçacıklar ile dolmuştur. Kuarklar birbirine gluonlar ile bağlanarak proton ve nötronları (çekirdeği) oluşturmuştur. Elektronların çekirdeğe bağlanmasıyla atom oluşmuştur. Farklı veya benzer atomlar birleşerek molekülleri, moleküller de maddeyi oluşturmuştur. Görsel 4.17'de maddenin oluşum süreci verilmiştir.



Görsel 4.17: Atom altı parçacıklardan maddeye ulaşma aşamaları (temsilî)

UYGULAMA » 4

İnfografikte temel parçacıklardan başlayarak maddenin oluşum sürecini açıklayan bir model verilmiştir.



Buna göre

a) 1 numaralı boşluğa ne yazılmalıdır?

b) 4 numaralı boşluğa ne yazılmalıdır?

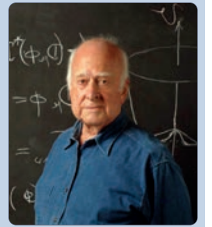
c) 8 numaralı boşluğa ne yazılmalıdır?

ç) Hangi numarayla verilenler kendi aralarında yer değiştirmelidir?

Higgs Bozonu

1960'lı yıllarda tüm temel parçacıkların, evrenin her yerini kaplayan ve Higgs alanı olarak adlandırılan bir alanda yüzdüğü öngörülüyordu. Bu alanın W, Z bozonlarıyla kuark ve leptonlara kütle kazandırdığı düşünülüyordu. Bu alanın etkileşim aracısı ise Higgs bozonu olarak isimlendirilmişti. Higgs bozonunun da Higgs alanı ile etkileşime girerek kütle kazandığı kabul ediliyordu. Ancak o yıllarda Higgs bozonu deneyler ile gözlemlenememişti. 2012 yılında CERN'de yapılan deneylerde Higgs bozonunun varlığı tespit edilmiştir.

MERAKLISINA BİLİM



Higgs bozonuyla ilgili ilk deneyler 1990'larda CERN'de başlamıştır. İlerleyen süreçlerde deneyler devam etmiştir. 2012 yılındaki deneyler sonucunda bu parçacığın varlığı kanıtlanmıştır. Bu keşfin ardından Higgs bozonu teorisiyle ilgili çalışmalar yürüten Peter Higgs (Pitır Higs) ve François Englert (Fransua Englert) 2013 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır.

4.2.4. Madde ve Antimadde

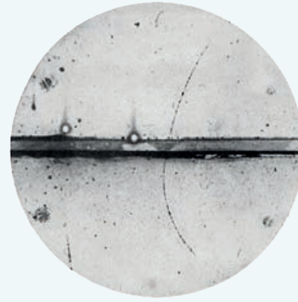
Her maddenin veya parçacığın karşıtı vardır. Bu karşıt maddelere **antimadde,** karşıt parçacıklara **antiparçacık** denir. Örneğin protonun karşıt parçacığı antiproton, nötronun karşıtı antinötrondur.

Antimadde kavramı ilk kez 1928 yılında Paul Dirac (Pol Dirak) tarafından ortaya atıldı. Dirac, elektronun karşıtı olan bir parçacık tespit etti. Elektronla karşıtını kıyasladığında bunların kütle, spin ve yük büyüklüklerinin aynı fakat yüklerinin zıt işaretli olduğunu belirledi. İleriki yıllarda bu kuralın tüm parçacıklar için geçerli olduğu ortaya koyulacaktı. 1932 yılında Carl Anderson (Karl Endırsın) tarafından elektronun karşıt parçacığı deneysel olarak bulundu ve elektronun karşıt parçacığına **pozitron** dendi. Carl Anderson tarafından sis odasında gözlemlenen ilk pozitron izleri Görsel 4.18'de verilmiştir.

Parçacık ile antiparçacık çarpıştırılırsa yüksek enerjili bir foton yayınlanır. Bu buluş ile günümüzde birçok teknolojik cihaz üretilmiştir. Örneğin PET cihazı, pozitron-elektron çarpıştırılmasıyla ortaya çıkan ışının doku üzerine gönderilmesi prensibiyle çalışır. Bu cihaz kullanılarak kanser hücreleri tespit edilir.

MERAKLISINA BİLİM

Teorik olarak varlığına işaret edilen parçacık ancak deneysel olarak gözlemlenirse bilim dünyası tarafından kabul edilir. Atom altı parçacıklar, kendisinin görünmesi ile değil, bıraktığı izler ile tespit edilir. Charles Wilson (Çarls Vilsın), parçacıkları gözlemlemek için sis veya bulut odası oluşturarak bazı parçacıkları görüntülemeyi başarmıştır. Sis odasına giren parçacıklar, enerjileri ile sis odasındaki buharı iyonlaştırıp farklı izler bırakır. Charles Wilson, 1927 yılında sis odası deneyi ile Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür.



Görsel 4.18: *Sis odasında gözlemlenen ilk pozitron izleri*

ARAŞTIRMA

Sis odası deneyini ve sis odasında bulunan parçacıkların hangileri olduğunu araştırınız. Sis odasında kameralara kaydedilmiş görüntüleri ve videoları inceleyiniz. İz bırakan bazı parçacıkları genel ağ adreslerinden inceleyebilirsiniz.

UYGULAMA » 5

Madde ve antimadde kavramlarının benzer ve farklı yönlerini belirtiniz.

UYGULAMA » 6

Elektronun yükünün -1, spininin kesirli olduğu biliniyor. Kütlesi hakkında bir bilgi bulunmayan başka bir parçacık için şu bilgiler veriliyor:

- Spini elektron gibi kesirlidir.
- Elektriksel yük büyüklüğü elektronla aynıdır.
- Elektron ile bu parçacık birbirini elektrostatik kuvvetle çekebilir.

Buna göre bu parçacık aşağıdakilerden hangileri olabilir?

I. Antiproton II. Pozitron III. Antinötron IV. Proton V. Foton

3. BÖLÜM

4.3. RADYOAKTİVİTE



Anahtar Kavramlar

- Radyoaktivite
- Fisyon
- Füzyon



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde radyoaktif madde, radyoaktivite, radyoaktif ışıma kavramları verilerek kararlı ve kararsız atom çekirdekleri incelenecektir. Bu konularda çalışma yapan bilim insanlarından bahsedilecek; alfa, beta, gama ışınımları ile atomun kütle numarası, atom numarası ve enerjisindeki değişim üzerinde durulacaktır. Nükleer fisyon ve füzyon olayları ele alınarak nükleer enerji, nükleer reaktör ve atom bombasının yıkıcı etkilerinden bahsedilecektir. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon, radyasyondan korunma yolları ve radyasyonun canlılar üzerindeki etkileri açıklanacaktır.



URANYUMDAN ELDE EDİLEN ENERJİ

Dünya'da elektrik üretiminin yaklaşık %11'i nükleer santrallerden elde edilmektedir. Nükleer enerji, tarihî eserlerin ve fosillerin yaşının hesaplanmasında ve bazı hastalıkların teşhisinde önemli rol oynar. Nükleer enerjinin, gelecekte petrol ve kömürün yerini alması beklenmektedir.



Günümüzde nükleer santrallerden elde edilen elektrik enerjisinin kaynağı, uranyumun zenginleştirilmiş (yabancı maddelerden arındırılıp doğal seviyenin üstüne çıkarılmış) hâlidir. Nükleer enerji ancak ağır radyoaktif elementlerden elde edilebilir. Bilinen uranyum maden sahalarının yaklaşık %30'u Avustralya'da bulunmaktadır. Uranyum, doğada bulunduğu hâliyle nükleer santrallerde kullanılamaz. Yakıt olarak kullanılabilmesi için uranyumun birtakım işlemlerden geçirilmesi gerekir.

Nükleer enerjinin ham maddesi olan uranyum (U), görünüşü çeliğe benzeyen, parlak gümüşümsü renge sahip bir metaldir. 1 gram uranyum, yaklaşık 1,3-2,5 ton kömürün yanması sonucu açığa çıkan enerjiye eşit enerjiye sahiptir.

Uranyum, tarihte kötü amaçlar için de kullanılmıştır. Uranyumun parçalanmasından elde edilen enerjinin yıkıcı etkisi, 1945 yılında atom bombasında denenmiştir. ABD tarafından Hiroşima'ya atılan atom bombası, normal bir bombanın (TNT) yaklaşık 15-20 kiloton katında bir enerji açığa çıkarmıştır. Hiroşima'ya atılan atom bombası, 64 kilogram uranyum içeriyordu. Bu uranyumun yaklaşık 1 kilogramı tepkimeye girerek parçalanmıştır.



HAZIRLIK SORULARI

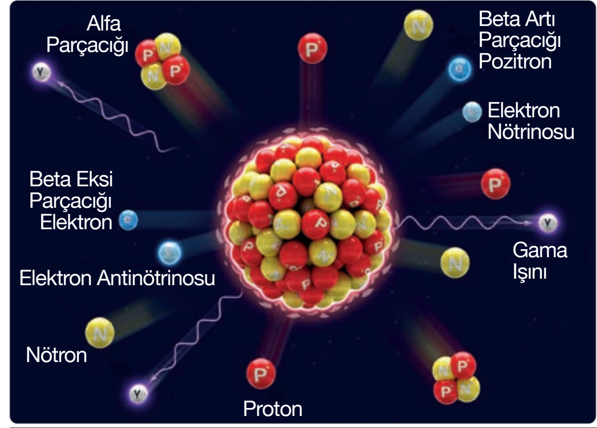
1. Nükleer enerji her elementten elde edilebilir mi? Açıklayınız.

2. Nükleer fizik çalışmalarının ülke ekonomisine ne gibi katkıları olabilir?

3. Dünya'da enerji sıkıntısı giderek artmaktadır.
Bu durum, hangi enerji kaynağı veya kaynaklarıyla çözülebilir? Tartışınız.

4.3.1. Kararlı ve Kararsız Durumdaki Atomların Özellikleri

Radyoaktivite terimi, Fransızca radio ve aktivite sözcüklerinden türetilmiş olup ışın etkinlik anlamına gelmektedir. Kararsız hâldeki atom çekirdeklerinin tanecik veya elektromanyetik ışın yayarak kararlı hâle geçmesi olayına genel anlamda **radyoaktivite** denir. Enerjinin ışıma yoluyla ortaya çıkması, **radyoaktif ışıma** veya **radyasyon** olarak isimlendirilir. Radyoaktivite olayı, atomun çekirdeği ile ilgili bir durumdur. Işıma yapan atomun çekirdeğine **radyoaktif çekirdek**, ışıma yapan maddeye ise **radyoaktif madde** denir. Radyoaktif çekirdek, çeşitli yollarla ışıma yaparak kararlı hâle geçebilir. Görsel 4.19'da atom çekirdeğinin yaptığı bazı ışınımlar modellenmiştir.



Görsel 4.19: *Atom çekirdeğinin yaptığı bazı ışınımlar*

Çekirdek Yapısı ve Kararlılığı

Herhangi bir elementin kimyasal sembolü X olmak üzere atom çekirdeği, atom numarası (Z) ve kütle numarası (A) şu şekilde gösterilir:

> $\left({}^{A}_{Z}X\right)$
> Z = Proton sayısı
> A = Proton sayısı + Nötron sayısı

Proton sayıları aynı fakat nötron sayıları farklı olan atomlara **izotop atomlar** denir. Her elementin birden fazla izotop elementi bulunur. Örneğin hidrojen atomunun üç tane doğal izotopu, dört tane laboratuvar ortamında sentezlenen izotopu vardır. Doğada çift sayıda proton ve nötron içeren kararlı izotop sayısı daha fazladır. Çekirdek kararlılığında şu durumlara bakılır:

- Atom numarası 20'den küçük olan kararlı elementlerde nötron/proton oranı yaklaşık 1'dir. ${}^{12}_{6}C$ ve ${}^{14}_{6}C$ izotop atomlarının proton sayısı görüldüğü üzere 6'dır. Fakat nötron sayıları karbon-12 atomunda 6, karbon-14 atomunda 8'dir. Bu iki atomun hangisinin daha kararlı olduğu nötron/proton oranına bakılarak söylenebilir. Bu durumda karbon-12 atomunun karbon-14 atomundan daha kararlı olduğu görülür. Karbon-14 atomunda nötron fazlalığı göze çarpmaktadır.
- Ağır elementlerde nötron/proton oranı yaklaşık 1,5 olduğunda atom daha kararlıdır. ${}^{206}_{82}Pb$ ve ${}^{210}_{82}Pb$ izotop atomlarının proton sayısı görüldüğü üzere 82'dir. Fakat nötron sayıları kurşun-206 atomunda 124, kurşun-210 atomunda 128'dir. Nötron/proton oranına bakıldığında kurşun-206 atomunun kurşun-210 atomundan daha kararlı olduğu görülür. Kurşun-210 atomunda nötron fazlalığı göze çarpmaktadır. Ağır elementler, nötron/proton oranı belli bir değere (kararlı hâle) gelene kadar alfa, beta ve gama ışıması yapar.
- Atom numarası 83 ve 83'ten büyük olan atomlarda kararlı element yoktur. Bu atomlar alfa, beta ve gama ışıması yaparak kararlı hâle geçebilir.

Genellikle çekirdeğin kütlesinin, nükleonların kütlelerinin toplamına eşit olması beklenir. Ancak yapılan hesaplamalara göre çekirdeğin (bütünün) kütlesi, nükleonların (parçaların) kütlesinden daha küçük çıkmaktadır. Aradaki kütle farkı, bağlanma enerjisi terimiyle açıklanır. **Bağlanma enerjisi**, nükleonları bir arada tutmak için gerekli enerji miktarıdır ve nükleonların kütlelerinden sağlanır.

MERAKLISINA BİLİM

İki proton ile iki nötronun kütlesi bağımsız olarak toplandığında sonuç 4,0330 u bulunur. Fakat bu parçacıklar bir araya gelip helyum çekirdeğini oluşturduğunda çekirdeğin kütlesi 4,0026 u olarak hesaplanır. Burada u harfi atomik kütle biriminin (akb) sembolüdür. Bu hesaplama, karbon-12 (^{12}C) atomu baz alınarak yapılır. Karbon-12 atomunun kütlesinin on ikide birine 1 u denir. Karbon atomunun kütle numarası 12, kütlesi 12 u'dur. Bir u, yaklaşık olarak $1{,}660538782 \cdot 10^{-27}$ kg'dır.

Kararsız Çekirdeğin Bazı Özellikleri

- Kararsız çekirdeklerde nükleon başına düşen bağlanma enerjisi düşüktür.
- Nükleonların bir arada durmasını sağlayan güçlü nükleer kuvvet, nükleonların birbirini itmesiyle oluşan elektrostatik kuvveti dengeleyemez. Bu yüzden atom çekirdeği kararsız yapıya doğru gider ve kararlı hâle geçmek için ışıma yapar.
- Nötron sayısı proton sayısından fazla olan kararsız çekirdekler, nötronlarını protonlara; proton sayısı nötron sayısından fazla olan kararsız çekirdekler ise protonlarını nötronlara dönüştürerek kararlı hâle geçer.

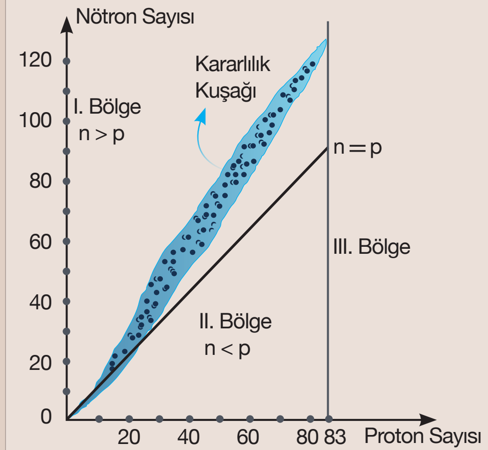
Kararlı Çekirdeğin Bazı Özellikleri

- Kararlı çekirdeklerde nükleon başına düşen bağlanma enerjisi yüksektir.
- Nükleonların bir arada durmasını sağlayan güçlü nükleer kuvvet, aynı işaretli yüklerin birbirini itmesiyle oluşan elektrostatik kuvveti dengeler. Bu yüzden atom çekirdeği kararlı hâldedir ve bu durumunu korumak ister.

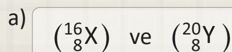
UYGULAMA » 1

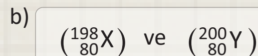
Kararlılık kuşağını gösteren grafikle ilgili şu yorumlar yapılmaktadır:

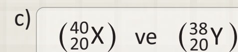
- Kararlılık kuşağında bulunan atom çekirdeklerinin radyoaktif bozunma özellikleri yok denecek kadar azdır. Bütün atom çekirdekleri, radyoaktif bozunma yaparak kararlılık kuşağı bölgesine geçiş yapma eğilimindedir.
- Kararlılık kuşağına geçiş I. bölgede nötronların protona dönüşmesi, II. bölgede protonların nötronlara dönüşmesi ile gerçekleşir.
- Proton sayısının 83'ten büyük olduğu III. bölgede bulunan çekirdekler kararsız hâldedir.



Buna göre aşağıda verilen izotop çiftlerinden hangilerinin kendi arasında daha kararlı olduğunu, kararsız olanın proton ve nötron dönüşümü açısından nasıl kararlı hâle getirilebileceğini bulunuz.

a)  $({}^{16}_{8}X)$ ve $({}^{20}_{8}Y)$

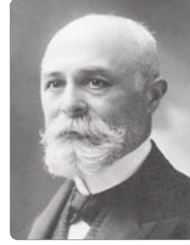
b)  $({}^{198}_{80}X)$ ve $({}^{200}_{80}Y)$

c)  $({}^{40}_{20}X)$ ve $({}^{38}_{20}Y)$

Radyoaktivitenin Keşfi

Wilhelm Conrad Röntgen (Vilhelm Konrad Röntgın), 1895 yılında yaptığı deneylerde Crookes tüpünün içinde bulunan gaza elektrik verip gaz deşarjı sırasında oluşan aydınlanmaları inceledi. Crookes tüpünü tamamen örtmesine rağmen uzakta bulunan cam kavanozda parıldamalar gördü. Deney tekrarlarında parıldamaların devam ettiğini gözlemledi. Röntgen, Crookes tüpünden dışarı sızan görünmez ışınların ne olduğunu bilmiyordu. Bu yüzden bu ışınlara bilinmeyen anlamında X ışını ismini verdi. Tarihteki ilk röntgen görüntüsü Röntgen'in eşinin eline aittir. Bu ışınlar, daha sonra **röntgen ışınları** olarak adlandırıldı.


Wilhelm Conrad Röntgen


Antoine Henri Becquerel


Marie Curie

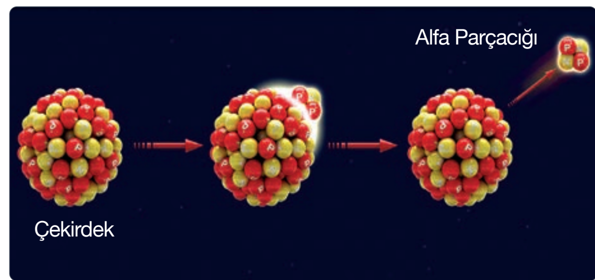
Görsel 4.20: *Radyoaktivitenin keşfedilmesini sağlayan üç bilim insanı*

Röntgen, X ışınlarını keşfettiğinde atomun yapısını oluşturan elektron, proton ve nötron henüz keşfedilmemişti. Tarihteki ilk Nobel Fizik Ödülü, X ışınlarının keşfi nedeniyle 1901 yılında Röntgen'e verildi. X ışınlarının keşfinden kısa bir süre sonra Antoine Henri Becquerel (Antuan Hanri Bekrel), çekmecesinden uzun bir süre çıkarmadığı uranyum tuzlarının fotoğraf filminde lekeler bıraktığını fark etti. Becquerel, uranyum tuzlarından hangi ışınların yayıldığını bilmiyordu. Bununla birlikte radyoaktivitenin keşfi Becquerel ile başlamış ve uranyum elementinin radyoaktif özelliği onun çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır. Radyoaktivitenin keşfindeki rolünden dolayı radyoaktivitenin ölçü birimine (Bq) Becquerel'in ismi verilmiştir.

Marie Curie (Meri Küri) ve eşi Pierre Curie (Pier Küri) Becquerel'in bulduğu ışını daha detaylı incelemeye başlamış ve uranyum hakkında yeni bilgilere ulaşmışlardır. Becquerel, radyoaktivitenin keşfi; Curie çifti ise radyoaktivite alanında yaptıkları çalışmalar nedeniyle 1903 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür. Bu süreçte radyum, toryum ve polonyumun radyoaktif madde olduğu keşfedilmiştir. Marie Curie, uranyum elementinden çok daha büyük oranda radyoaktif özellik gösteren radyum elementini ayrıştırmayı başarmıştır. 1911 yılında element keşifleri ve radyoaktivite çalışmalarından dolayı Marie Curie'ye Nobel Kimya Ödülü verilmiştir. Radyoaktivitenin keşfinde katkısı bulunan üç bilim insanı Görsel 4.20'de görülmektedir.

4.3.2. Radyoaktif Bozunmalarda Atomun Nükleon Sayısı ve Enerjisindeki Değişim

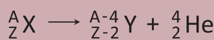
Kararsız çekirdekler, alfa ile beta bozunumu ve bu bozunumları takip eden süreçte gama bozunumu yaparak kararlı hâle geçer. Bu süreç **radyoaktif bozunma** veya **radyoaktif parçalanma** olarak adlandırılır. Kararsız çekirdek, radyoaktif parçalanma sonucunda kararlı başka bir çekirdeğe dönüşür.



Görsel 4.21: *Alfa parçacık yayınlama modeli*

1. Alfa (α) Parçacık Bozunumu

Alfa bozunumu, atom numarası büyük olan ağır elementlerin, helyum parçacığı ($^{4}_{2}He$) yayınlayarak başka kararlı bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır. Alfa parçacığı yayınlayan atomun atom numarası 2, kütle numarası 4 azalır. Bozunum denklemi şu şekildedir:



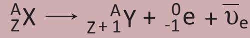
$$^{A}_{Z}X \longrightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He$$

Denklemde X kararsız çekirdeği, Y oluşan yeni kararlı çekirdeği gösterir. Alfa parçacığı, enerjisi çok çabuk kaybolduğundan fazla yol alamaz. Bu yüzden alfa parçacığı, bir kâğıt sayfasının içinden geçemez. Bozunma sırasında atom, enerjisinin bir kısmını alfa parçacığına aktaracağından atomun enerjisi azalır. Görsel 4.21'de çekirdeğin alfa parçacık yayınlama modeli verilmiştir.

2. Beta (β) Parçacık Bozunumu

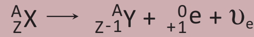
Beta bozunumu, kararsız çekirdeğin kararlı hâle geçebilmesi amacıyla fazla nötrondan kurtulmak için elektron (e^-), fazla protondan kurtulmak için pozitron (e^+) fırlatması olayıdır.

β^- bozunumunda nötron; bir proton, bir elektron ve bir antinötrinoya ($\bar{\upsilon}_e$) bozunur. β^- bozunumunda çekirdeğin atom numarası 1 artar, kütle numarası değişmez. Bozunum denklemi şu şekildedir:



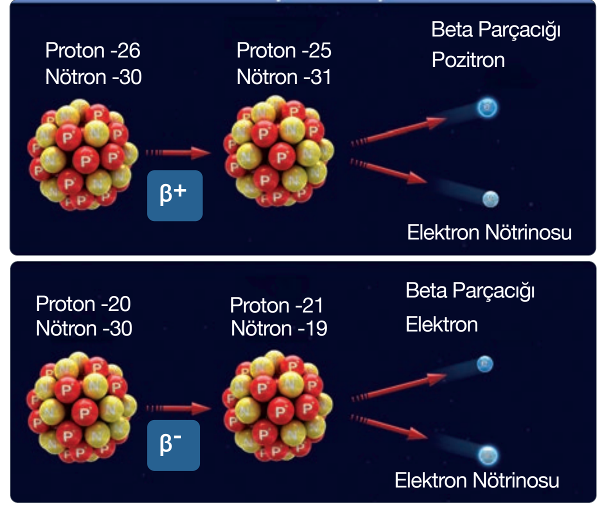
$${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e + \bar{\upsilon}_e$$

β^+ bozunumunda proton; bir nötron, bir pozitron ve bir nötrinoya (υ_e) bozunur. β^+ bozunumunda çekirdeğin atom numarası 1 azalır, kütle numarası değişmez. Bozunum denklemi şu şekildedir:



$${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e + \upsilon_e$$

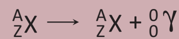
Her iki denklemde X kararsız çekirdeği, Y oluşan yeni kararlı çekirdeği gösterir. Görsel 4.22'de β bozunumlarına ait bir model verilmiştir. Bozunma sırasında atom, enerjisinin bir kısmını parçacıklara aktaracağından atomun enerjisi azalır. β parçacığı, kâğıt parçasından geçebilir fakat alüminyum folyodan geçemez.



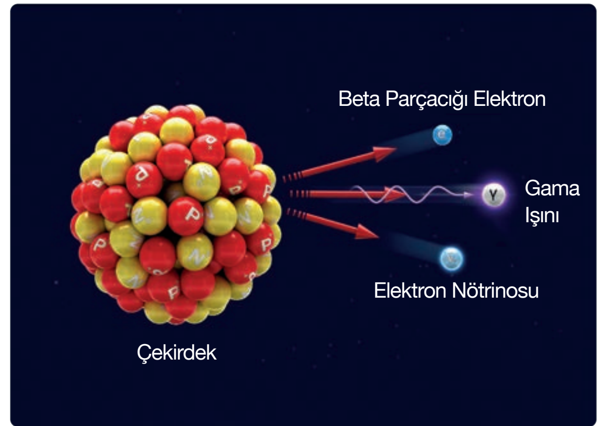
***Görsel 4.22:** Beta (+) ve beta (-) bozunum modeli*

3. Gama Işın Bozunumu (γ)

Alfa veya beta bozunumu gerçekleştiren çekirdek, uyarılmış hâlde kalırsa fazla enerjisinden kurtulmak için foton yayınlar. Bozunum olayında yayınlanan fotonlar, **gama ışını** olarak adlandırılır. Gama ışını yayınlayan atomun atom numarası ve kütle numarası değişmez. Bozunum denklemi şu şekildedir:



$${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{0}\gamma$$



***Görsel 4.23:** Beta parçacık (-) ve gama ışın bozunum modeli*

Denklemin sol tarafındaki X uyarılmış kararsız çekirdeği, sağ tarafındaki X ise kararlı çekirdeği gösterir. Görsel 4.23'te çekirdeğin beta parçacık ve gama ışın bozunum modeli gösterilmiştir. Bozunma sırasında atom, enerjisinin bir kısmını fotona aktardığı için atomun enerjisi azalmış olur. Enerjisi çok büyük olduğundan gama ışını kâğıt parçasından ve alüminyum folyodan geçebilir fakat kurşun levhadan geçemez.

UYGULAMA » 2

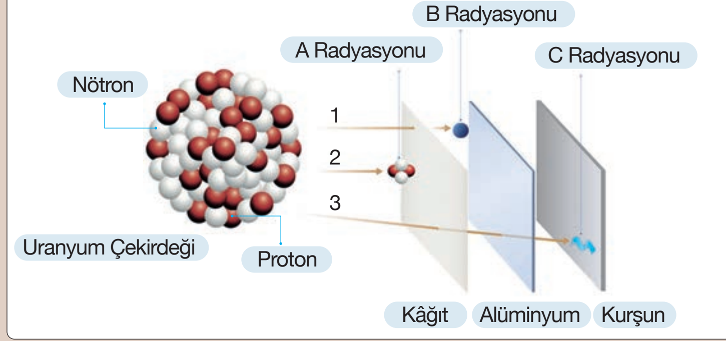
Kütle numarası 238, atom numarası 92 olan bir element, arka arkaya 3 alfa, 2 beta (+) ve 1 gama ışıması yapıyor.

Buna göre oluşan yeni çekirdeğin atom numarası ve kütle numarası ne olur? Elementin enerjisi nasıl değişir?

UYGULAMA » 3

Görselde 1, 2 ve 3 numaralı yollardan sadece birini izleyen alfa ve beta parçacıkları ile gama ışınına ait geçirgenlik testi gösterilmektedir.

Buna göre alfa ve beta parçacıkları ile gama ışınının hangi yolu izlediğini bulunuz.



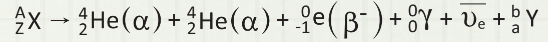
SORU 1

Bir X izotopu arka arkaya 2 alfa, 1 beta (β-) ve 1 gama ışıması yapıyor.

Buna göre bozunum denklemini yazarak oluşan yeni elementin kütle numarası ve atom numarasının nasıl değiştiğini gösteriniz. Elementin enerjisi nasıl değişir?

ÇÖZÜM

Işımalar sonucunda elementin enerjisi azalır. Y oluşan yeni elementi, a atom numarasını, b kütle numarasını göstermek üzere bozunum denklemi şu şeklide ifade edilir:



$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{4}_{2}He(\alpha) + {}^{4}_{2}He(\alpha) + {}^{0}_{-1}e(\beta^{-}) + {}^{0}_{0}\gamma + \overline{\upsilon_e} + {}^{b}_{a}Y$$

$A = 4 + 4 + 0 + 0 + b$ $\quad b = A - 8$ bulunur.

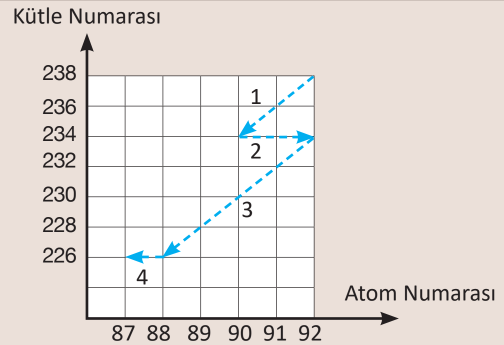
Bu durumda kütle numarası 8 azalır.

$Z = 2 + 2 + (-1) + 0 + a$ $\quad a = Z - 3$ bulunur.

Bu durumda atom numarası 3 azalır.

UYGULAMA » 4

Kütle numarası 238, atom numarası 92 olan radyoaktif element, çeşitli bozunmalar sonucunda kütle numarası 226, atom numarası 87 olan başka bir elemente dönüşüyor. Elementin yaptığı bozunmalar grafikte verilmiştir.



Buna göre

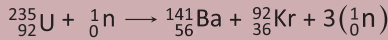
a) Element 1, 2, 3 ve 4. bölgelerde hangi bozunumları yapmıştır?

b) Grafiğe göre yapılan alfa, beta (-) ve beta (+) bozunmaları kaçar tanedir?

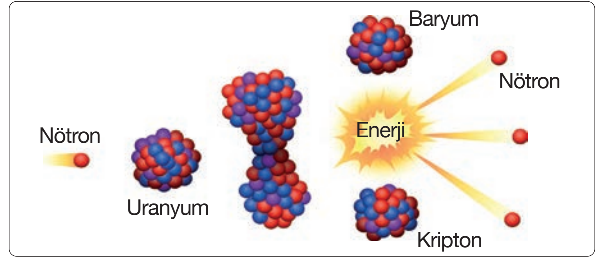
c) Grafiğin hangi bölgelerinde elementin gama ışını yayması mümkündür?

4.3.3. Nükleer Fisyon ve Füzyon

Nükleer fisyon, nötronla bombardıman edilen kütle numarası büyük atom çekirdeklerinin parçalanarak daha küçük kütle numaralı iki veya daha fazla farklı atom çekirdeğine dönüşmesi olayıdır (Görsel 4.24). Radyoaktif çekirdekler parçalandığında çok güçlü bir enerji açığa çıkar. Nötron ($^{1}_{0}n$) ile bombardıman edildiğinde uranyum elementinin ($^{235}_{92}U$) baryum (Ba) ve kripton (Kr) çekirdeklerine dönüşüm tepkimesi şu şekilde yazılır:

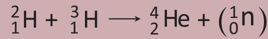


$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3(^{1}_{0}n)$$

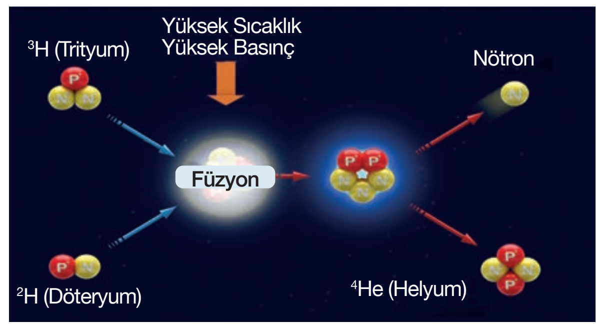


Görsel 4.24: Nükleer fisyon tepkimesi

Nükleer füzyon, atom numarası küçük olan iki hafif elementin birleşerek atom numarası daha büyük ve daha ağır bir element oluşturması olayıdır (Görsel 4.25). Füzyonda açığa çıkan enerji, fisyonda açığa çıkan enerjiden çok daha fazladır. Döteryum ($^{2}_{1}H$) ile trityum ($^{3}_{1}He$) elementinin birleşerek helyum elementini ($^{4}_{2}He$) oluşturma tepkimesi şu şekilde yazılır:



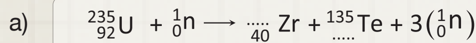
$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + (^{1}_{0}n)$$

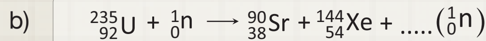


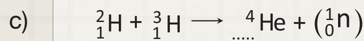
Görsel 4.25: Nükleer füzyon tepkimesi

UYGULAMA » 5

Aşağıda nükleer fisyon ve füzyon olayları ile ilgili tepkime örnekleri verilmiştir. Tepkimelerde noktalar ile gösterilen bazı alanlar boş bırakılmıştır.
Bu alanlardaki noktalı yerleri uygun şekilde doldurarak tepkimelerin hangi olaya ait olduğunu gerekçeleriyle yazınız.

a)  $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{.....}_{40}Zr + ^{135}_{.....}Te + 3(^{1}_{0}n)$

b)  $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{90}_{38}Sr + ^{144}_{54}Xe + ...(^{1}_{0}n)$

c)  $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{.....}He + (^{1}_{0}n)$

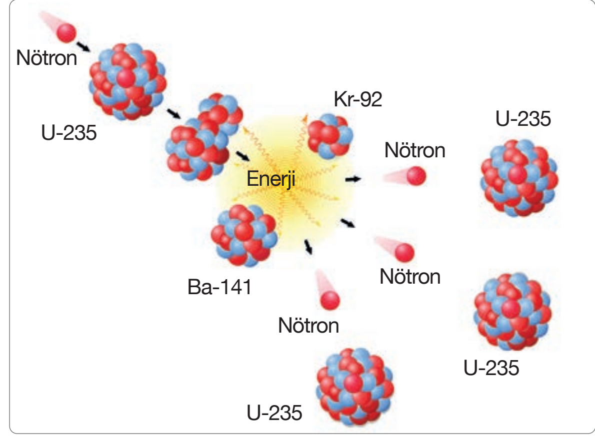
Nükleer Enerji ile Çalışan Sistemler

Atom çekirdeğinin parçalanması veya atom çekirdeklerinin birleşmesi sonucunda büyük bir enerji ortaya çıkar. Güneş'in enerji kaynağını, hidrojen atomlarının birleşerek helyuma dönüşmesi oluşturur. Diğer bir deyişle Güneş'in nükleer enerjisi, füzyon olayı ile sağlanır. Nükleer santral tesislerinde uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementlerin çekirdekleri zincirleme fisyon ile kontrollü şekilde parçalanır ve buradan yüksek miktarda nükleer enerji elde edilir. Fisyon olayı ile açığa çıkan nükleer enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlere **nükleer reaktör** adı verilir. Nükleer santrallerde bir veya birkaç nükleer reaktör bulunabilir (Görsel 4.26).



Görsel 4.26: Nükleer santral tesisi (reaktörler)

Nükleer reaktörlerde enerji, kontrollü bir şekilde zincirleme fisyon parçalanması ile elde edilir (Görsel 4.27). Buradan elde edilen nükleer enerji, elektrik enerjisine dönüştürülür. Nükleer reaktörlerde üretilen elektrik enerjisi, ülkelerin dışa bağımlılığının azalmasını ve enerji üretim maliyetlerinin düşmesini sağlar. Bu durumun ülke ekonomisine katkısı büyüktür. Ayrıca insanlığın yararına kullanıldığında nükleer enerjinin bilime ve teknolojiye önemli katkıları vardır. Nükleer enerji, elektrik üretiminin yanında birçok alanda kullanılmaktadır. Tıpta hastalıkların teşhis ve tedavi süreçleri, jeoloji ve arkeolojide yaş tayini, uzay teknolojisi, uçak ve deniz altı sanayisi vb. nükleer enerjinin kullanıldığı alanlara örnek gösterilebilir.



Görsel 4.27: *Zincirleme nükleer reaksiyon*

MERAKLISINA BİLİM

Bilim insanları, Dünya'da yapay füzyon olayı ile enerji üretme çalışmalarını sürdürmektedir. Güneş'in yüzeyi yaklaşık 5500 °C, çekirdeği ise 15,6 milyon °C sıcaklık değerindedir. Çin'de Deneysel Gelişmiş Süper İletken Tokamak reaktöründe nükleer füzyon tepkimesi deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde Güneş'in sıcaklığının yaklaşık beş katına, 70 milyon °C sıcaklığa, ulaşılmıştır. Bu sıcaklık, yaklaşık 1056 saniye sürdürülebilmiştir.

ARAŞTIRMA

Sınıf arkadaşlarınızla beşer kişilik gruplar oluşturunuz. Aşağıda verilen araştırma konularından birini seçip iş birliği içinde araştırınız. Araştırdığınız konuları sınıf ortamında sunum yaparak arkadaşlarınızla paylaşınız.

1. Nükleer santrallerin enerji dönüşüm sürecinde çalışma prensipleri nelerdir?
2. Nükleer enerjinin, ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamada ne kadarlık bir payı vardır?
3. Nükleer enerjinin en çok kullanıldığı sistemler nelerdir?
4. Ülkemizin enerji gereksiniminin büyük bir kısmını karşılaması planlanan Mersin Akkuyu Nükleer Güç Santrali ve Sinop Nükleer Santralinin özellikleri ve ülke ekonomisine sağlaması beklenen katkılar nelerdir?

Nükleer reaktörlerde amaç, doğal kaynakların tüketimini azaltıp çevreyi kirletmeden temiz enerji elde etmektir. Nükleer enerji, fosil yakıtlarla (kömür, petrol, doğalgaz vb.) kıyaslandığında çevreye daha az zarar verir. Bununla birlikte bazı konular, nükleer enerjinin çevreye etkileriyle ilgili tartışma yaratmaktadır. Nükleer atıkların depolanması ve imhası, bu konudaki endişe kaynaklarından biridir. Nükleer kazalarda reaktörlerden sızan ışınlar, çevreye ve canlılara zarar vermekte ve bu ışınların etkisi uzun yıllar devam etmektedir. Görsel 4.28'de nükleer kaza sonrasında radyasyondan dolayı terk edilen bir şehrin görüntüsü verilmiştir. 1986 yılında Çernobil'de meydana gelen nükleer kaza ile 2011 yılında Fukuşima I Nükleer Santralindeki kaza, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından yedi üzerinden yedi olarak değerlendirilmiş en riskli iki nükleer kazadır.



Görsel 4.28: *Ukrayna-Pripyat'tan bir fotoğraf (2019)*

Nükleer Silahsızlanma ve Atom Bombasının Yıkıcı Etkileri

Nükleer enerji, barışçıl amaçlarla kullanılmadığında büyük felaketlere yol açabilmektedir. Bu bakımdan nükleer silahların dünya barışını ve dünyadaki canlı yaşamını tehdit ettiği söylenebilir. Her ne kadar bu silahların geliştirilmesinde bilimin sağladığı veriler kullanılmış olsa da sorumluluğu bilime ve bilim insanlarına yüklemek yanlış olur. Bu konudaki esas sorumluluk, bilimi kötüye kullananlardadır.

Atom bombasını ilk yapan ve kullanan ülke ABD olmuştur. 1945 yılında Japonya'nın Hiroşima şehrine atılan ilk bomba, uranyumdan elde edilmiştir. Görsel 4.29'da günümüzde Atom Bombası Kubbesi olarak bilinen Hiroşima'daki bir bina görülmektedir. İlk bombadan üç gün sonra Nagazaki şehrine atılan atom bombası (Görsel 4.30) plütonyum elementinden üretilmiştir.



Görsel 4.29: Hiroşima'da bulunan Atom Bombası Kubbesi

Her iki atom bombası da büyük bir felaket doğurmuştur. Uranyum ve plütonyum elementlerinin parçalanmasıyla (fisyon) yayılan radyasyon ve sıcaklık, binlerce insanın ölmesine sebep olmuş, radyasyonun etkileri nesiller boyu devam etmiştir. Birçok hastalık türü ortaya çıkmış, milyonlarca insan ya sakat kalmış ya da sakat doğmuştur.



Görsel 4.30: Nagazaki'ye atılan atom bombası

İnsanlık için büyük yıkım doğuran nükleer silahları geliştirme çalışmaları bu tarihten sonra da devam etmiştir. ABD, 1952 yılında atom bombasından çok daha yıkıcı olan hidrojen bombasını (füzyon) geliştirmiş ve 1954 yılında Büyük Okyanus'ta denemiştir.

Günümüzde nükleer silahlanma, bu silahların azaltılması için gösterilen bütün çabalara rağmen devam ediyor. Hangi ülkenin, kaç nükleer silahı olduğu kesin olarak bilinmemekle beraber dokuz ülkenin elinde on beş bin civarında nükleer silah olduğu tahmin ediliyor. Dünyada yaşanan gerilimlere bakıldığında nükleer silahsızlanmanın, dünya barışı ve insanlığın geleceği için çok önemli olduğu görülmektedir.

ARAŞTIRMA

Nükleer silahsızlanmayla ilgili anlaşmaları araştırınız. Taraf devletlerin bu anlaşmaları uygulayıp uygulamadıklarını değerlendiriniz. Elde ettiğiniz sonuçları sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.3.4. Radyasyonun Canlılar Üzerindeki Etkisi

Radyasyonun yayılması kendiliğinden olabileceği gibi atom çekirdeği üzerine yapılan etki ile de gerçekleşebilir. Atom çekirdeğinin kendiliğinden radyasyon yayması **doğal radyoaktiflik**, dışarıdan bir etki ile radyasyon yayması ise **yapay radyoaktiflik** olarak adlandırılır. Maruz kalınan radyasyonun çok büyük bir bölümü, doğal radyasyon kaynaklarından gelir. Yayılan radyasyonun türüne veya etkisine göre radyasyon ikiye ayrılır.

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Bu tür radyasyonun, iyonlaştırıcı radyasyona göre enerjisi çok daha azdır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun doğal kaynağı Güneş'tir. Güneş'ten yayılan radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışınlar ve morötesi ışınlar (yakın) iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur. Cep telefonu, mikrodalga fırın, televizyon gibi birçok teknolojik alet iyonlaştırıcı olmayan

radyasyon yayar. Teknolojik aletlerden uzak durmak, iyonlaştırıcı olmayan radyasyona maruz kalmayı azaltacaktır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun canlılar üzerindeki zararlı etkileriyle ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu radyasyonun işareti Görsel 4.31'de verilmiştir.



Görsel 4.31: *İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun işareti*

İyonlaştırıcı Radyasyon

Bu radyasyon türü ile günlük hayatta sıkça karşılaşılır. Doğal iyonlaştırıcı radyasyon; yer kabuğunda bulunan elementlerde, yapı malzemelerinde, toprakta yetişen gıda maddelerinde, kayaçlarda, suda ve havada bulunur. Uzaydan gelen kozmik ışınlar, Güneş'ten gelen morötesi ışınlar (uzak), X ışınları ve gama ışınları doğal iyonlaştırıcı radyasyondur. Uranyum, toryum, radyum, aktinyum gibi radyoaktif elementlerden yayılan alfa ve beta parçacıkları, gama ve X ışınları doğal iyonlaştırıcı radyasyondur.

İyonlaştırıcı radyasyon, yapay yollarla da elde edilir. Tıpta röntgen, nükleer görüntüleme, radyoterapi gibi uygulamalarda X ışınları ve gama ışınlarından faydalanılır. Ayrıca endüstriyel işlemlerde, güvenlik amaçlı uygulamalarda, araştırma ve bilimsel çalışmalarda iyonlaştırıcı X ışınları ve gama ışınlarından yararlanılır. Tehlikeli radyasyonun veya iyonlaştırıcı radyasyonun geleneksel işareti Görsel 4.32'de gösterilmiştir.



Görsel 4.32: *Radyasyon tehlikesi işareti*

MERAKLISINA BİLİM

Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'ne göre bir kişi için yıllık etkin doz 1 mSv'i (milisievert) geçemez. Özel durumlarda ardışık beş yılın ortalaması 1 mSv olmak üzere yılda 5 mSv'e kadar izin verilir. Cilt için yıllık eş değer doz sınırı 50 mSv, göz merceği için 15 mSv'tir. Bu sınırlara tıbbi ışınlamalar ve doğal radyasyon nedeniyle maruz kalınacak dozlar dâhil edilmez. Bazı uygulamalar sonucunda alınabilecek iyonlaştırıcı radyasyonun yaklaşık değerleri aşağıda verilmiştir.

- *Akciğer Röntgeni: 0,1 mSv*
- *Akciğer Tomografisi: 5 mSv*
- *Mamografi: 1 mSv*
- *Bilgisayarlı Tomografi (beyin): 1-5 mSv*
- *Diş Röntgeni: < 0,1 mSv*

(mSv: radyasyon doz birimi)

Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Radyasyondan Korunma Yolları

İyonlaştırıcı radyasyon öncelikle hücreyle etkileşir, DNA ve RNA moleküllerinde tahribat oluşturur. Özellikle kendini yenileyen hücreler, bu durumdan çok daha kolay etkilenir. İyonlaştırıcı radyasyon, hücrenin ölümüne yol açabilir.

İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkisini tedavi edici veya azaltıcı herhangi bir ilaç mevcut değildir. Bu yüzden iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalınmaması en önemli tedbirdir. Radyasyon dozunun belirlenen sınır değerleri aşmaması için gerekli tedbirlerin alınması sağlık açısından önemlidir. Bu kapsamda koruyucu kıyafetler, eldivenler ve maskeler radyasyona karşı alınacak önlemlerdendir.

MERAKLISINA BİLİM

Sigaranın sağlığa zararları ile birey ve aile ekonomisine olumsuz etkileri herkesçe bilinir. Bununla birlikte sigara dumanında radyasyon bulunduğu pek bilinmez. Sigara dumanındaki radyasyonun bir kısmı içici tarafından direkt vücuda alınır, diğer kısmı da havaya üflenen dumanla pasif içicilerin vücuduna girer. Günde 1,5 sigara paketinden alınan yıllık radyasyon miktarı, bir kişi için belirlenen yıllık radyasyon miktarından çok daha fazladır.

ARAŞTIRMA

Aşağıda verilen konu başlıkları ile ilgili araştırma yapınız. Elde ettiğiniz verileri sınıf ortamında sunum yaparak arkadaşlarınızla paylaşınız.

1. Yaşam alanlarındaki radyasyon kaynakları
2. Radyasyondan korunma yolları
3. Radyasyon güvenliği

Aşağıdaki cümlelerden doğru olanların karşısına "D", yanlış olanların karşısına "Y" yazınız.

1. Thomson, e/m deneyiyle elektronun yükünü hesaplamıştır.
2. Milikan, yağ damlası deneyiyle elektronun kütlesini hesaplayabilmiştir.
3. Rutherford, saçılma deneyiyle atomun boşluklu yapıda olduğunu keşfetmiştir.
4. Bohr atom teorisi, yörünge kavramıyla kuantumlu yapıyı tarif eden ilk atom teorisidir.
5. Schrödinger dalga denklemi ile elektronun bulunma ihtimalinin yüksek olduğu yerlerin belirlenmesi hedeflenir.
6. Atomlar sadece çarpıştırılarak veya ısıtılarak uyarılabilir.
7. Hubble Yasası büyük patlama teorisini destekler.
8. Elektron ile pozitron çarpışırsa gama ışınları yayınlanabilir.
9. Proton ve nötron temel parçacıklardır.
10. Kuarklar yüksüz parçacıklardır.
11. Çekirdekteki nükleonların toplam kütlesi, çekirdeğin kütlesinden fazladır.
12. Kızılötesi ışınlar iyonlaştırıcı radyasyon yayar.
13. Alfa ve beta parçacıkları yüksüz parçacıklardır.
14. Radyoaktif ışımada yayılan gama ışınları, manyetik alandan etkilenir.
15. Doğada bulunan ve radyoaktif bir element olan uranyum, kendiliğinden radyoaktif ışıma yapabilir.
16. Radyoaktif bozunmalar sonucunda çekirdeğin kütle numarası kesinlikle değişir.
17. Nükleon başına düşen bağlanma enerjisi ne kadar büyükse atom o kadar kararlıdır.

Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

18. **Dalton, Thomson ve Rutherford atom teorilerinin benzer ve farklı yönlerini ayrıntılara girmeden ifade ediniz.**

19. **Dalton, Thomson, Rutherford ve Bohr atom teorilerinin tarihsel gelişim sürecini göz önünde bulundurarak bu teorilerin birbiriyle ilişkili geliştiğini kanıtlayan örnekler veriniz.**

20. **Milikan'ın yağ damlası deneyi, Thomson'ın e/m tayini ve Rutherford'un saçılma deneyi sonuçlarının atom fiziği için önemi nedir? Açıklayınız.**

21. **Bohr atom modeline göre hidrojen atomunda bir üst yörüngeye çıkan elektronun**
    a) açısal momentumu,
    b) toplam enerjisi,
    c) yörünge yarıçapı
    nasıl değişir? Açıklayınız.

22. Modern atom teorisinin Bohr atom teorisi ile benzer ve farklı yönleri vardır.
    Bu noktaları kısaca açıklayınız.

23. **Büyük patlama teorisini destekleyen bilimsel çalışmalar ve araştırmalar nelerdir? Açıklayınız.**

24. Aşağıdaki durumlardan hangilerinde atomun uyarılma ihtimali kesinlikle yoktur? Açıklayınız.

a) Atomu ısıtmak
b) Atomları birbirleriyle çarpıştırmak
c) Atoma 1. uyarılma enerji seviyesinden daha büyük bir enerjide elektron göndermek
ç) Atoma 2. ve 3. uyarılma enerji seviyelerinin arasına denk gelen enerjide foton göndermek

25. Abdus Salam, Sheldon Glashow ve Steven Weinberg isimli üç bilim insanı 1979 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşmışlardır.
Bu bilim insanlarının, doğada bulunan hangi iki kuvvet ile yaptıkları çalışmalar başarılı bulunmuştur? Bu iki kuvveti kısaca açıklayınız.

26. **Güçlü nükleer kuvvet ile kütle çekim kuvvetini kısaca açıklayarak aralarındaki farkları belirtiniz.**

27. **Standart model çerçevesinde atom altı parçacıkları gruplayınız.**

28. **Higgs bozonu ne zaman keşfedilmiştir? Higgs bozonunun keşfini kısaca açıklayınız.**

29. **Maddenin oluşum sürecini, atom altı parçacıklardan başlayarak bir tablo veya model üzerinde gösteriniz.**

Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

30. **Aşağıdaki bilim insanlarından kaç tanesi atom fiziği konusunda çalışmalarda bulunmuştur?**

I. Asım Orhan Barut
II. Behram N. Kurşunoğlu
III. Feza Gürsey
IV. Werner Heisenberg
V. Erwin Schrödinger
VI. Louis Victor de Broglie

A) 2 B) 3 C)4 D) 5 E) 6

31. Verilen etkinlikte kutuların eşleştirilmesi isteniyor.

1.	Parçacığın konumu ile momentumu aynı anda belirlenemez.		Bohr Atom Teorisi
2.	Elektronun, dalganın güçlü olduğu yerlerde bulunma ihtimali daha yüksektir.		Heisenberg Belirsizlik İlkesi
3.	Elektronlar, çekirdek çevresinde atomu nötr yapacak biçimde hareketsiz durur.		
4.	Elektron, çekirdek çevresinde, Coulomb kuvvetinin etkisiyle çembersel yörüngede ışıma yapmadan dolanır.		Olasılık Dalgası
5.	Elektronların bulunabileceği enerji düzeyleri ve elektronların dağılımları, dalga fonksiyonları şeklinde kuantum sayılarıyla gösterilir.		Schrödinger Dalga Denklemi

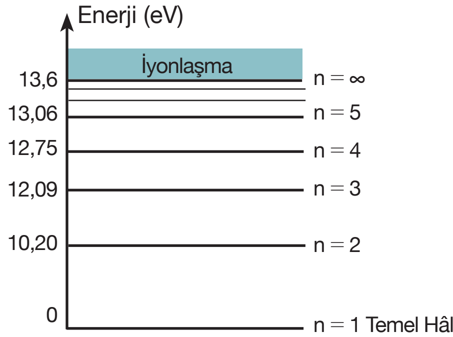
Buna göre eşleştirme yapıldığında verilenlerden hangisinin karşılığı bulunmamaktadır?

A) 1 B) 2 C) 3 D) 4 E) 5

32. **Aşağıda verilenlerden hangisi yanlıştır?**

A) Dünya'dan gözlemlenen yıldız ışınlarının dalga boyunun artması, evrenin genişlediğini gösterir.
B) Büyük patlama teorisi, evrendeki tüm maddenin çok yoğun ve sıcak bir noktadan meydana geldiğini belirtir.
C) Büyük patlama teorisinin en büyük kanıtlarından biri, kozmik mikrodalga arka plan ışımasıdır.
D) Büyük patlama teorisi, evrenin oluşumu ve geleceğiyle ilgili geliştirilen tek teoridir.
E) Hubble Yasası'na göre gök adaların birbirinden uzaklaşma hızları, aralarındaki mesafe ile doğru orantılıdır.

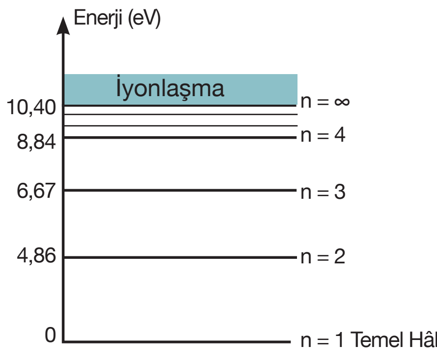
33. Hidrojen atomunun bazı uyarılma enerji seviyeleri şekildeki gibidir.



Buna göre temel hâlde bulunan hidrojen atomunu
I. 10 eV enerjili elektron,
II. 10,80 eV enerjili foton,
III. 12,75 eV enerjili foton,
IV. 13 eV enerjili elektron
taneciklerinden hangileri uyarabilir?

A) I ve II **B)** II ve III **C)** II ve IV **D)** III ve IV **E)** I, III ve IV

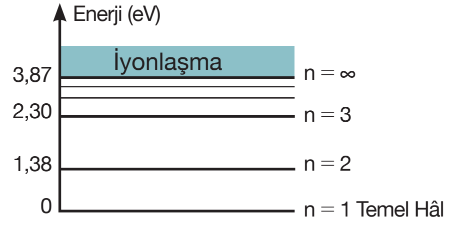
34. Cıva atomunun bazı uyarılma enerji seviyeleri şekildeki gibidir. Cıva buharı, 9,8 eV enerjili elektronlarla bombardıman ediliyor.



Buna göre elektronlar
I. 0,08 eV,
II. 0,96 eV,
III. 3,13 eV
enerji miktarlarından hangileri ile dışarı çıkabilir?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D** II ve III **E)** I, II ve III

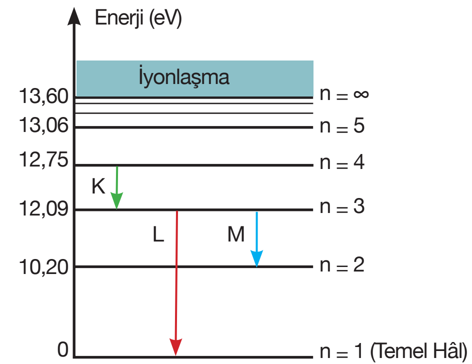
35. Sezyum atomuna ait bazı uyarılma enerji seviyeleri şekildeki gibidir.



Buna göre
I. Sezyum atomu uyarıldığında elektronların çekirdeğe olan uzaklığı azalır.
II. Sezyum atomu uyarıldığında atomun enerjisi artar.
III. Sezyum atomuna 2,40 eV enerjili elektron gönderildiğinde uyarılan atomun yapabileceği ışımanın en küçük enerji değeri 0,92 eV olur.
IV. Sezyum atomu 4 eV enerjili elektron veya foton ile iyonlaştırılabilir.
yargılarından hangileri doğrudur?

A) I ve II **B)** II ve III **C)** II ve IV **D)** III ve IV **E)** II, III ve IV

36. Hidrojen atomuna ait uyarılma enerji seviyeleri ve bazı ışımalar şekilde verilmiştir.



Atomda maksimum 6 farklı ışıma gözlemlendiğine göre aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

A) Spektrum çizgi sayısı en fazla Lyman serisinde oluşur.
B) K ve M ışımalarında ışımanın dalga boyu eşittir.
C) Balmer (H_β) ışıması gözlemlenmez.
D) En büyük enerjili ışıma L ışımasına aittir.
E) Frekansı en büyük olan ışımanın enerjisi 12,09 eV'tur.

37. **Evrenin genişlemesini destekleyen kırmızıya kayma olayında Dünya'ya ulaşan ışınlarla ilgili**
I. Algılanan dalga boyu artar.
II. Algılanan frekans azalır.
III. Dünya ile yıldız arasındaki uzaklık azalır.
ifadelerinden hangileri doğrudur?
A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III
D) II ve III **E)** I, II ve III

38. **Dört temel kuvvetle ilgili**
I. Elektromanyetik kuvvetin etkileşim parçacığı fotonlardır.
II. Menzili en uzun olan kuvvet, güçlü nükleer kuvvettir.
III. Zayıf nükleer kuvvet, kütle çekim kuvvetinden daha şiddetlidir.
yargılarından hangileri doğrudur?
A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III
D II ve III **E)** I, II ve III

39. **Aşağıdaki parçacıkların hangisinde spin değeri tam sayı değildir?**
A) Gluon
B) Foton
C) Elektron
D) Z bozonu
E) Higgs bozonu

40. I. Proton
II. Pion
III. Sigma
IV. Elektron
Yukarıda verilen atom altı parçacıklardan hangileri üç kuarkın birleşmesiyle oluşmuştur?
A) I ve II **B)** I ve III **C)** II ve III
D) II ve IV **E)** III ve IV

41. **Aşağıda verilen bilgilerden hangisi doğrudur?**
A) Leptonlar, hadron grubunda yer alan parçacıklardan daha ağırdır.
B) Mezonlar, kuark ve antikuarkın birleşmesiyle oluşur.
C) Baryonlar, ikili kuark yapıdadır.
D) Proton ve nötron, baryon ailesinin en ağır parçacıklarıdır.
E) Elektronlar, kuarklardan oluşur.

42. **Standart modele göre fermiyon grubunda yer almayan parçacık hangisidir?**
A) Proton
B) Nötron
C) Müon
D) Foton
E) Elektron

43. **Leptonlarla ilgili**
I. Sadece kuarklardan oluşur.
II. Yapılarında antikuarklar vardır.
III. Yapılarında kuark yoktur.
ifadelerinden hangileri doğrudur?
A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve II **E)** II ve III

44. **($^{4}_{2}He$) atomunda u ve d kuarklarının sayısı kaçtır?**

	u kuarkı	d kuarkı
A)	2	2
B)	2	3
C)	4	4
D)	6	4
E)	6	6

45. **Bir madde ve onun antimaddesi ile ilgili**
I. Kütleleri eşit büyüklüktedir.
II. Yüklerinin işaretleri aynıdır.
III. Yük büyüklükleri farklıdır.
ifadelerinden hangileri doğrudur?
A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve II **E)** I ve III

46. I. Çekirdek
II. Kuark
III. Atom
IV. Molekül
Maddenin oluşum süreci aşağıdakilerin hangisinde doğru sıralama ile verilmiştir?
A) I-II-III-IV **B)** II-I-III-IV **C)** II-I-IV-III
D) III-I-II-IV **E)** IV-III-II-I

47. Kararsız çekirdekler alfa, beta ve gama bozunması ile kararlı hâle geçer. Kararsız bir X elementi; 2 alfa, 2 beta (-) ve 1 gama ışıması yaparak atom numarası 90, kütle numarası 230 olan kararlı Y elementine dönüşüyor.

Buna göre X elementi için

I. Enerjisi artmıştır.
II. Nötron sayısı 146'dır.
III. Atom numarası, Y elementinin atom numarasından 2 fazladır.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

48. Radyoaktif çekirdekler, radyoaktif ışıma sonucunda başka çekirdeklere dönüşür.

Buna göre

I. ${}^{238}_{92}X \rightarrow {}^{234}_{90}Y + A$

II. ${}^{238}_{92}X \rightarrow {}^{234}_{91}Y + B$

III. ${}^{238}_{92}X \rightarrow {}^{238}_{92}Y + C$

bozunum denklemlerinde A, B ve C ışımalarının isimleri ne olabilir?

	A	B	C
A)	Alfa	Beta (-)	Gama
B)	Alfa	Beta (+)	Gama
C)	Beta (-)	Alfa	Gama
D)	Gama	Alfa	Beta (+)
E)	Beta (+)	Gama	Alfa

49. I. Marie Curie
II. Wilhelm Conrad Röntgen
III. Henri Becquerel

Yukarıda verilen bilim insanlarından hangileri radyoaktivite konusunda çalışmalar yapmıştır?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D II ve III E) I, II ve III

50. I. Güneş'te hidrojen atomlarının helyuma dönüşmesi
II. Nötron bombardıman edilerek ağır çekirdeklerin parçalanması
III. İki farklı çekirdeğin birleşerek kütle numarası daha büyük yeni bir çekirdek oluşturması

Yukarıda verilenlerden hangileri nükleer füzyona örnek gösterilebilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

51. I. Yıldızlarda hidrojen atomlarının birleşmesi ile helyum atomlarının oluşması
II. Nükleer santrallerde uranyum atomunun parçalanması ile nükleer enerji elde edilmesi
III. Ağır çekirdeklerin parçalanması sonucunda farklı iki çekirdek oluşması

Yukarıda verilenlerden hangileri nükleer fisyona örnek gösterilebilir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

52. Nükleer enerji, kullanım amacına bağlı olarak insanlığa fayda sağlayabileceği gibi bazı riskleri de bünyesinde barındırmaktadır.

Buna göre aşağıdakilerden hangisi nükleer enerjinin insanlığa faydalarından biri <u>olamaz</u>?

A) Nükleer silahlanmanın ülkeler arasında bir yarışa dönüşmesi
B) Nükleer reaktörlerin çevreye düşük miktarda karbondioksit salımı yapması
C) Nükleer enerjinin hastalıkların teşhis ve tedavisinde kullanılması
D) Elde edilen enerjinin diğer enerji türlerinden daha yüksek olması
E) Daha küçük bir alanda fosil yakıtlara göre daha yüksek enerji üretilmesi

53. İyonlaştırıcı radyasyonun insanlara zarar verdiği bilinmektedir. Ancak radyasyonun birtakım uygulamalarda insanların yararına olduğu görülür.

İyonlaştırıcı radyasyonla ilgili

I. Hastanelerde iç organların ayrıntılı görüntülenmesini sağlar.
II. Hücrelerdeki DNA moleküllerinin değiştirilmesine sebep olur.
III. Kliniklerde birtakım mikroorganizmaların yok edilmesinde kullanılır.

ifadelerinden hangilerinde radyasyonun faydalı uygulamalarından bahsedilmiştir?

A) Yalnız I B) I ve II C) I ve III D) II ve III E) I, II ve III

54. İnsanlar, radyasyona sürekli maruz kalmaktadır. Bu yüzden radyasyondan korunma yolları hakkında bilgi sahibi olmak ve radyasyon güvenliği bilinci son derece önemlidir. İnsanların maruz kaldığı radyasyon kaynakları, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır.

Aşağıdakilerden hangisinde diğerlerinden farklı bir radyasyon kaynağı verilmiştir?

A) Hastanede nükleer tıp ilaçlarını hastaya vermekle görevli olanların aldığı radyasyon
B) Kayaçlardaki radyoaktif çekirdeklerden yayılan radyasyon
C) Deniz balıklarının tüketimi sonucunda alınan radyasyon
D) Havada bulunan radon gazının solunumu sonucunda alınan radyasyon
E) Güneş'ten, diğer yıldızlardan ve uzaydan gelen radyasyon

55. Azot (N) ve magnezyum (Mg) atomlarına ait izotop atomlar aşağıda verilmiştir.

$X = {}^{14}_{7}N$

$Y = {}^{13}_{7}N$

$Z = {}^{24}_{12}Mg$

$W = {}^{28}_{12}Mg$

Buna göre

I. X atomu, Y atomundan daha kararlıdır.
II. Z atomu, W atomundan daha kararlıdır.
III. X atomu, Z atomundan daha kararlıdır.

yargılarından hangileri kesinlikle doğrudur?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve II

56. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan ışınlardan birçok alanda faydalanıldığı görülür.

Aşağıdakilerden hangisi iyonlaştırıcı radyasyonun kullanım alanlarından biri değildir?

A) Hastanelerde röntgen ışınlarının kullanılması
B) Yolcu valizlerinin kontrolünde X ray cihazlarından faydalanılması
C) Sanayide malzemenin sağlamlığının denetlenmesinde X ışınlarının kullanılması
D) Gece görüş cihazlarında kızılötesi ışınlar kullanılarak görüntü elde edilmesi
E) Radyoterapi tedavisi uygulanan bölgeye yüksek enerjili ışınların gönderilmesi

57. Doğada birçok elementin izotop elementi bulunmaktadır.

Aynı elementin iki izotop atomu ile ilgili verilen

I. Atom numarası
II. Kütle numarası
III. Toplam baryon sayısı
IV. Toplam kuark sayısı

niceliklerinden hangileri birbirine eşit olabilir?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve IV **E)** II, III ve IV

58. Bir grup öğrenci, bazı parçacıklara ait kütle ve yük değerleri aşağıda verilen tabloya rastlamış ve tabloya ait bilgileri incelemiştir.

Parçacıklar	Kütlesi (MeV/c^2)	Elektrik Yükü (e)
Elektron	0,511	- 1
Antiproton	938,3	-1
Pozitron	0,511	+1
Nötron	939,6	0

Öğrencilerin tabloyu da dikkate alarak parçacıklar hakkında yaptıkları yorumlar şu şekildedir:

Ömer: Elektron ile pozitron çarpışırsa birbirini yok edebilir.

Zeynep: Tablodaki veriler değerlendirilerek nötron ve protonun kütlesi kıyaslanabilir.

Enes: Tabloda verilen parçacıklardan en büyük yük değerine sahip olan pozitrondur.

Elif: Yükü sıfır olduğu için nötronun karşıt parçacığı yoktur.

Buna göre öğrencilerden hangilerinin yaptığı yorum doğrudur?

A) Ömer ve Zeynep **B)** Ömer ve Enes
C) Enes ve Elif **D)** Ömer, Enes ve Elif
E) Zeynep, Enes ve Elif



Karekodda verilen bulmacaları çözünüz.

5. ÜNİTE

MODERN FİZİK

ÜNİTE BÖLÜMLERİ



5. ünitenin sunumu için karekodu okutunuz.



5. üniteye ulaşmak için karekodu okutunuz.

1.
BÖLÜM

5.1. ÖZEL GÖRELİLİK



Anahtar Kavramlar

Özel Görelilik



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde Michelson-Morley deneyinin yapılış amacı, deneyin yapılış aşamaları ve sonuçları üzerinde durulacak; bilimsel çalışmalarda sabır ve kararlılığın öneminden bahsedilecek; Einstein'ın özel görelilik teorisinin temel postülaları ifade edilerek göreli zaman ve göreli uzunluk kavramları açıklanacak; kütle-enerji eş değerliği üzerinde durulacaktır.



ZAMANDA SEYAHAT



Einstein, evreni üç uzay ve bir zaman olmak üzere dört boyutlu bir doku olarak tanımlamıştır. Peki, uzay boyutunda olduğu gibi zaman boyutunda da seyahat edilebilir mi? Fizik kanunları buna izin verir mi?

Evrendeki her madde ve enerji, uzay-zaman dokusunu büker. Bu bükülme, evrenin şeklini değiştirerek madde ve enerjinin kütle çekimi denilen etkiyi deneyimlemesini sağlar. Örneğin Güneş, bu dokuyu bükerek gezegenlerin dolanabileceği bir kuyu meydana getirir.

İlkesel olarak uzayın katlanabilir olması, bilim kurgu filmlerinde olduğu gibi bir zaman makinesi yapılmasını sağlayabilir mi? Düz bir kâğıt bükülerek boru şeklinde kıvrılabildiği gibi uzay dokusu da bükülerek bir solucan deliği oluşturulabilir mi?

Solucan delikleri, genel görelilik denklemlerinin kuramsal sonuçlarından biridir ve uzayın bükülerek uzak iki nokta arasında kısa bir yol oluşturulması ilkesine dayanır. Kara delikten farklı olarak içinden bir astronotun ya da uzay gemisinin geçişine izin verir. Solucan deliğinin bir ucundan girdiğinizde çok uzaklarda bir yerde bulunan diğer ucundan çıkabilirsiniz.

Kara deliklerin varlığına dair elimizde güçlü kanıtlar bulunmasına rağmen ne yazık ki solucan deliklerinin varlığına dair ne doğrudan ne de dolaylı hiçbir bulgu yoktur. Kim bilir, belki bir gün çok uzaklara gitmek ya da zamanda seyahat etmek için bir solucan deliği keşfeder veya tasarlarız.



HAZIRLIK SORULARI

1. Einstein, evreni nasıl tanımlamıştır?
2. Kütle çekimi açısından düşünülecek olursa suya atılan bir taş ile yaşam döngüsünün sonuna gelmiş bir yıldız arasında nasıl bir bağ kurulabilir?
3. Zaman yolculuğu pek mümkün gözükmese de sizce zamanda genişleme mümkün müdür? Okuduğunuz bir kitapta ya da izlediğiniz bir filmde böyle örneklere rastladınız mı?

5.1.1. Michelson–Morley Deneyi

Tarih boyunca ışığın doğası üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 19. yüzyılda ışığın bir elektromanyetik dalga olduğu keşfedilmiştir. Her ne kadar Maxwell, elektromanyetik dalgaların yayılması için bir ortamın varlığına gerek olmadığını söylese de birçok bilim insanı, mekanik dalgalar gibi elektromanyetik dalgaların da yayılabilmek için bir ortama ihtiyaç duyduğuna inanmış ve bu ortama **ışık taşıyan esir** (ether) adını vermiştir. Bilim insanları; uzayın, kütlesiz ve esnek bir yapısı bulunan esirle dolu olduğunu ve tüm gök cisimlerinin bu ortam içerisinde hareket ettiğini ileri sürmüştür. Tüm bunların yanı sıra esir, hareketsiz kabul edilerek eylemsiz bir referans sistemi gibi düşünülmüştür. Durgun ya da düzgün doğrusal hareket yapan sistemler, **eylemsiz referans sistemi** olarak adlandırılmaktadır.



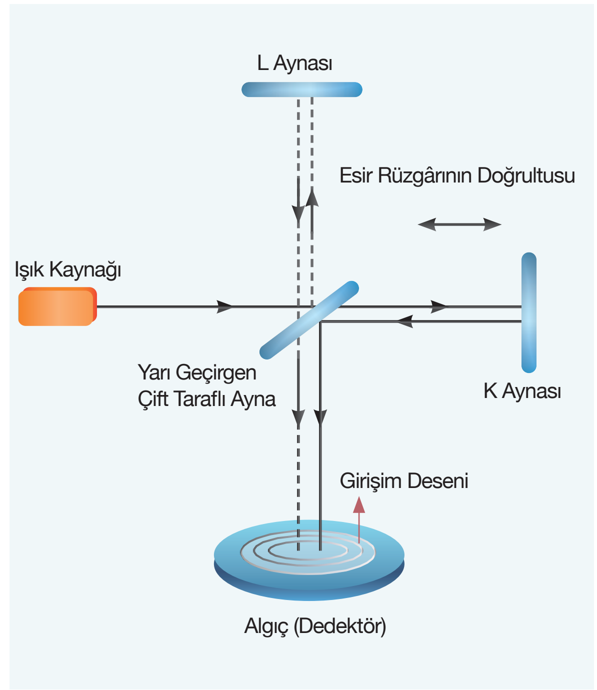
Görsel 5.1: *Albert Michelson*



Görsel 5.2: *Edward W. Morley*

Bilim insanlarına göre böyle bir ortam mevcutsa bu ortam içerisinde hareket eden gök cisimlerinin esir ortamında dalgalanmalara sebep olması gerekir. Örneğin Dünya'nın Güneş çevresindeki dolanım hareketi, esirde dalgalanmalar meydana getirmelidir. Güneş'ten Dünya'ya ulaşan ışınlar esir ortamı ile aynı doğrultuda hareket ettiğinde ışığın hızında bir değişim gözlemlenmelidir. Işığın hızındaki bu değişimin deneysel olarak tespit edilmesi durumunda esirin varlığı da ispatlanmış olur.

Bu amaçla yola çıkan Albert Michelson [Albırt Maykılsın (Görsel 5.1)] ve Edward Morley [Edwırd Morley (Görsel 5.2)], ışık hızındaki küçük değişimleri tespit etmek ve esirin varlığını ispatlamak için Michelson girişimölçerini (interferometre) tasarlamıştır. Sistem, bir kaynaktan çıkan ışık demetinin yarı geçirgen bir ayna tarafından iki özdeş kısma ayrılması ve sonra bir algıç (dedektör) üzerinde tekrar birleştirilmesi esasına dayanmaktaydı.



Şekil 5.1: *Michelson girişimölçerinin şematik görünümü*

Michelson ve Morley, cıva dolu demir tank üzerine yerleştirilen bir tahta bloka sabitledikleri bu düzenekte iki düzlem ayna kullanmış, bu aynalardan birini ışınların kuramsal esir maddesiyle aynı doğrultuda, diğerini ise ışınların kuramsal esir maddesine dik doğrultuda hareket etmesine olanak verecek şekilde yerleştirmişlerdir. Şekil 5.1'de şematik gösterimi verilen Michelson girişimölçeri çalıştırıldığında sırasıyla aşağıdaki olayların gerçekleşmesi beklenmiştir.

- Yarı geçirgen çift taraflı aynaya gönderilen ışık demetinin bir bölümü aynadan geçerek tam yansıtıcı K aynasına ulaşır. K aynasından yansıyan ışık, yarı geçirgen aynadan da yansıyarak algıç üzerine düşer.
- Yarı geçirgen aynaya gönderilen ışık demetinin bir bölümü aynadan yansıyarak tam yansıtıcı L aynasına ulaşır. L aynasından yansıyan ışık, yarı geçirgen aynadan geçerek algıç üzerine düşer.
- Çift yarıkta girişim deneyinde olduğu gibi iki ayrı kaynaktan gelen ışınlar, algıç üzerinde girişim deseni oluşturur.

Esir kuramına göre Dünya'nın hareketi esirde dalgalanma oluşturmalıdır. Esirdeki dalgalanma, nehirdeki akıntının yüzücüye olan etkisine benzer bir etki yaratarak Dünya'nın hareketi doğrultusunda gönderilen ışık demetlerinin hızını etkilemeli ve ışık demetlerinin algıç üzerine farklı zamanlarda düşmesine neden olmalıdır. Bunun sonucunda algıç üzerinde oluşan girişim deseninde bir kayma gözlemlenmelidir.

Michelson ve Morley, girişim deseni gözlemlenirken girişimölçerin 90^0lik bir açı ile döndürülmesi durumunda saçak aralığının 0,4 katı büyüklüğünde bir kayma gözlemleneceğini hesaplamışlardı. Deneyde kullanılan algıç, saçak aralığının 0,01 katı kadarlık bir kaymayı bile saptayacak hassaslıkta olduğundan saçaklarda meydana gelen olası bir kayma rahatlıkla gözlemlenebilecekti. Ancak girişim deseninde hiçbir kayma gözlemlenmedi.

Sonuçlar son derece şaşırtıcıydı. Bu yüzden deney, farklı bilim insanları tarafından sabır ve kararlılıkla farklı koşullarda birçok kez tekrarlandı. Ancak sonuç değişmedi. Esirin varlığını gösteren bir kanıta ulaşılamadı.

Fizik tarihinde belki de hiçbir deneyde beklenen sonuca ulaşmak için bu derece büyük bir gayret gösterilmemiştir. Tüm bu gayretli çalışmaya rağmen deney sonucunda evreni dolduran esir düşüncesinden vazgeçildi. Işığın yayılması için hiçbir ortamın gerekmediği anlaşıldı. Hassas optik aletler kullanarak gerçekleştirdiği spektroskopik ve metrolojik çalışmalar nedeniyle 1907 yılında Nobel Fizik Ödülü Michelson'a verildi.

Michelson ve Morley deneyi,

- Esirin ölçülebilir özelliklerinin olmadığını göstermiş ve ışık taşıyan esir fikrini ortadan kaldırmıştır.
- Boşlukta ışık hızının, kaynak ve gözlemcinin hareketinden etkilenmediğini, her doğrultu ve yönde tüm referans sistemleri için aynı değere sahip olduğunu ortaya koymuştur.

SORU 1

Michelson-Morley deneyinin sonuçlarına göre

I. Esir, tüm uzaya yayılmış mutlak referans sistemidir.
II. Esir, esnek yapısından dolayı ışık hızını etkilemektedir.
III. Esirin ölçülebilir özellikleri yoktur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

Michelson-Morley deneyinin sonunda

I. Esirin ölçülebilir özelliklerinin olmadığı görülmüş ve evrende mutlak bir referans sisteminin bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
Bu ifade yanlıştır.

II. Esirin varlığına dair bir kanıta ulaşılamamıştır.
Bu ifade de yanlıştır.

III. Bu ifade Michelson-Morley deneyinin sonuç ifadelerindendir. Dolayısıyla bu yargı doğrudur.
Cevap yalnız III'tür.

UYGULAMA » 1

Aslı, Michelson-Morley deneyi konulu bir araştırma yapıyor.

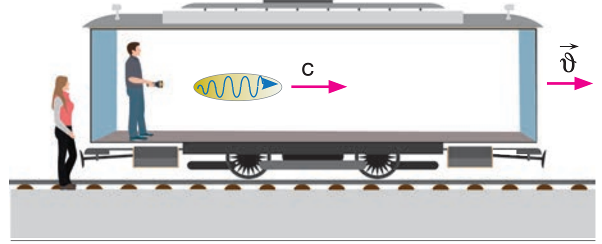
Hazırladığı araştırma raporunda yer alan, deneyin yapılış amaçları ile ilgili

I. elektromanyetik dalgaların yayılması için ortama ihtiyaç duyulmadığı düşüncesinden hareketle esir ortamının olmadığını ispatlamak,
II. ışık hızını ölçmek,
III. elektromanyetik dalgaların yayılması için ortama ihtiyaç duyulduğu düşüncesinden hareketle esirin varlığını ve olası etkilerini tespit etmek

ifadelerinden hangileri doğrudur?

5.1.2. Özel Görelilik Teorisi

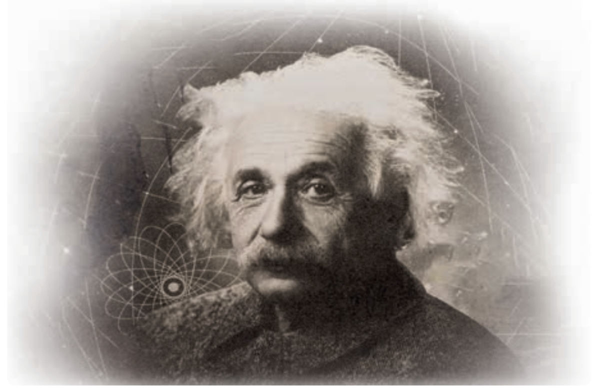
Günlük hayatta ışık hızına göre çok daha düşük hızlarla hareket etmekte olan birçok cisim görülür. Newton mekaniği, bu cisimlerin hareketini açıklamak ve modellemek üzere kurgulanmıştır. Newton mekaniğine göre bu cisimlerin ilkesel olarak ses veya ışık hızına ulaştırılamaması için hiçbir sebep yoktur. Newton kuramı, ışık hızıyla hareket edilmesine izin vermektedir. Ancak deneyler, bunun tam aksini söylemektedir. Bir elektron, ivmelendirici gerilimin büyüklüğü ne olursa olsun, hiçbir zaman ışık hızına ulaşamamaktadır. Bu açıdan bakıldığında Newton mekaniği, sınırlı bir kuramdır ve ışık hızına yaklaşan cisimlerin hareketini incelemede yetersiz kalmaktadır. Bu kuramdaki çelişkileri ortadan kaldırmak için Einstein tarafından görelilik kuramı ortaya konmuştur. Görelilik kuramı, fizik biliminde çığır açmıştır. Bu kuramla birlikte 19. yüzyılda ortaya çıkan ve fizik dünyasındaki tüm taşların yerine oturduğu, ulaşılan temel ilkelerle her türlü sorunun çözülebileceği fikri rafa kalkmıştır.



Şekil 5.2: *$\vec{\vartheta}$ hızıyla ilerlemekte olan kapalı bir vagonda ışık atması gönderen bir kişi ve vagon dışındaki durgun gözlemci*

Şekil 5.2'deki kapalı vagon, $\vec{\vartheta}$ hızıyla ilerlemektedir. Vagondaki gözlemci, bir ışık atması gönderdiğinde bu atma, vagondaki gözlemciye göre c hızıyla ilerlemektedir. Newton mekaniğine göre atmanın hızının büyüklüğü, vagonun dışındaki durgun gözlemciye göre $c + \vartheta$ olmalıdır.

Michelson-Morley deneyinin de ortaya koyduğu gibi ışığın boşluktaki hızı sabittir, kaynak ve gözlemcinin hızından etkilenmez. Mekanik dalgaların aksine ışık, her zaman aynı hızla ilerler. Örneğin 60 km/h'lik bir hızla hareket etmekte olan bir otomobilin sürücüsü, 10 km/h hızla ilerlemekte olan bir bisikletlinin yanından geçerken bisikletlinin hızını 50 km/h olarak algılar. Sürücü; aynı otomobilin farlarını açtığında, otomobil hangi hızla gidersе gitsin, farlardan çıkan ışınların hızını daima sabit ve saniyede yaklaşık 300 milyon metre olarak algılar.



Görsel 5.3: *Albert Einstein*

Işık hızının, gözlemcinin hızından bağımsız oluşu, Albert Einstein'ın (Görsel 5.3) 1905 yılında özel görelilik teorisini ortaya koymasında önemli bir etkendir. Einstein, ışık hızının sabit bir değer olduğu ve hangi hızla hareket ederse etsin tüm gözlemciler için aynı görüneceği ön kabulünden yola çıkmış ve bu durumun gözlem çerçevelerinde zamanın farklı akıyor olmasından kaynaklanabileceği ileri sürmüştür. Einstein, tüm bu düşünce deneylerinden sonra özel görelilik teorisini iki temel postüla üzerine kurmuştür.

MERAKLISINA BİLİM

Einstein'ın Michelson-Morley deneyinden ne kadar haberi vardı? Bu soru bilim tarihçileri arasında hâlâ tartışma konusudur. Einstein, yazdığı bir mektupta "Kendi geliştirdiğim kuramda Michelson'ın sonuçlarının önemli bir etkisi olmadı." demiştir.

1. Postüla: Fizik yasaları tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır.

2. Postüla: Boşlukta ışığın hızı, tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynı $c = 2{,}99792458 \times 10^8$ değerindedir. Yani c'nin ölçülen değeri, gözlemcinin ya da ışık kaynağının hareketinden bağımsızdır.

Uzun yıllar kabul gören Newton mekaniği, aslında Einstein'ın kuramının özel bir hâlidir. Özel görelilik kuramı ile birlikte ortaya konan matematiksel modeller, küçük hız değerlerinde Newton'ın hareket denklemlerini vermektedir.

SORU 2

I. Fizik yasaları, sabit hızla hareket eden ya da durgun referans sistemlerinde aynıdır.

II. Elektromanyetik dalgaların yayılması için esir denilen bir ortama ihtiyaç vardır.

III. Işık hızının ölçülen değeri, gözlemcinin ya da ışık kaynağının hareketinden bağımsızdır.

Yukarıda verilen ifadelerden hangileri Einstein'ın özel görelilik teorisinin temel postülalarındandır?

ÇÖZÜM

I. Durgun ya da sabit hızlı referans sistemlerine eylemsiz referans sistemi denir. "Fizik yasaları, tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır." ifadesi özel görelilik teorisinin ilk postülasıdır.

II. Michelson-Morley deneyi sonucunda esir ortamına dair herhangi bir kanıta ulaşılamamıştır. II. ifade görelilik teorisi ile bağlantılı değildir.

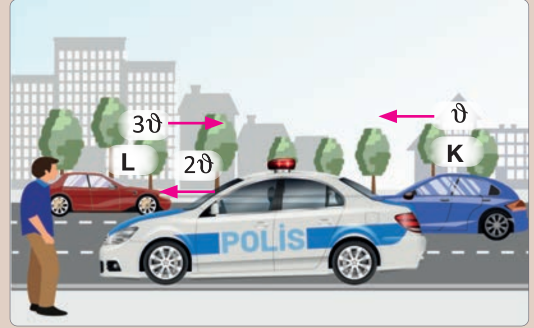
III. Boşlukta ışığın hızı, tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynı değerdedir. III. ifade özel görelilik teorisinin ikinci postülasıdır.

Dolayısıyla sorunun cevabı I ve III'tür.

UYGULAMA » 2

Bir polis aracı, mavi ve kırmızı renkli ışık yayan tepe ikaz lambasını çalıştırarak trafikte 2ϑ hızı ile ilerlemektedir. Bu sırada yol kenarında duran bir yaya kırmızı renkli ışığı ϑ_1, polis aracı ile aynı yönde ϑ hızı ile ilerlemekte olan K aracı mavi renkli ışığı ϑ_2 ve karşı şeritten 3ϑ hızı ile gelmekte olan L aracı kırmızı renkli ışığı ϑ_3 hızı ile algılamaktadır.

Buna göre ϑ_1, ϑ_2 ve ϑ_3 hız büyüklükleri arasındaki ilişki nedir?



UYGULAMA » 3

Einstein'ın çeşitli düşünce deneyleri ile özel görelilik kuramına yol açan paradoksları 16 yaşındayken fark ettiği ve bu deneylerden birinde "Elimde tuttuğum bir ayna ile ışık hızına yakın bir hızla koşabilseydim ne görürdüm?" sorusunu sorduğu söylenir.

Einstein'ın sorduğu bu soruya yanıtınız ne olurdu?

5.1.3. Göreli Zaman ve Göreli Uzunluk Kavramları

Göreli Zaman

Zaman kavramı Newton tarafından *Doğa Bilimlerinin Matematik İlkeleri* adlı eserde "Mutlak, doğru ve matematiksel zaman; kendiliğinden ve yapısı gereği hiçbir dış etkiden etkilenmeden aynı şekilde akar." şeklinde tanımlanmıştır. Bu mutlak zaman tanımının önemli sonuçları vardır ve bu tanım, insanın ışık hızıyla hareket etmesine olanak sağlar.

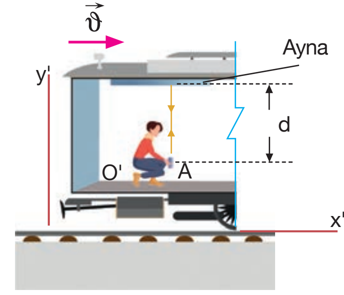
Einstein, özel görelilik kuramında bu yaklaşımı terk ederek zaman aralığı ölçümlerinin, ölçümün yapıldığı referans sistemine bağlı olduğunu söylemiştir. Işık hızının tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynı ölçülmesinin gözlem çerçevelerinde zamanın farklı akmasıyla mümkün olabileceğini belirterek bu görüşünü bir düşünce deneyi ile ortaya koymuştur.

Bu düşünce deneyinde tavanına ayna yerleştirilen sabit $\vec{\vartheta}$ hızı ile ilerlemekte olan vagondaki gözlemci, aynadan d kadar uzakta bir lazer kaynağı tutmaktadır. Gözlemci, lazer kaynağından aynaya doğru bir ışın gönderdiğinde ışın, aynadan yansıyarak tekrar lazer kaynağına gelmektedir.

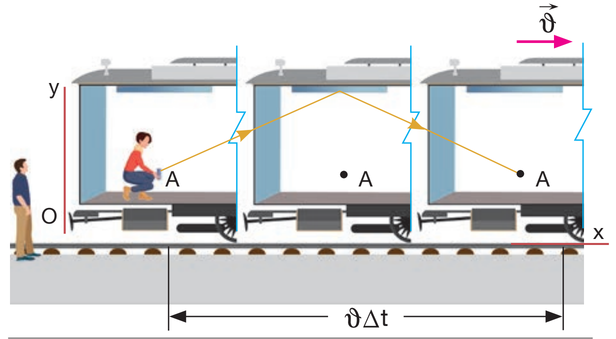
Vagona göre durgun O' gözlemcisi (Şekil 5.3: a), elindeki kaynaktan çıkan ışığın 2d kadar yol aldığını gözlemlerken vagonun dışındaki yere göre durgun O gözlemcisi, aynı sürede ışığın 2d'den daha fazla yol aldığını gözlemler (Şekil 5.3: b). Özel göreliliğin ikinci postülasına göre ışık hızı, her iki gözlemci tarafından c olarak ölçülmelidir. Işık, vagon dışındaki O gözlemcisine göre daha uzun bir yol katettiğinden bu gözlemci tarafından ölçülen zaman aralığı, hareketli çerçevedeki (vagonun içindeki) O' gözlemcisi tarafından ölçülen zaman aralığından daha uzun olacaktır. Bu durum, vagon içindeki O' gözlemcisi için zamanın daha yavaş aktığını göstermektedir.

Işık hızına yakın bir hızla hareket eden bir saat, durgun gözlemci tarafından hareketsiz sistemde bulunan özdeş bir saatten daha yavaş çalışıyor olarak algılanır. Bu etkiye **zaman genişlemesi** adı verilir. Örneğin uzayda ışık hızına yakın bir hızla hareket etmekte olan bir uzay gemisinde görevli bir astronotun hem saati hem de kalp atışları yeryüzünde bulunan bir saate göre yavaşlamıştır. Ancak astronot, uzay gemisinde zamanın yavaşladığı duygusuna kapılmaz.

Zaman genişlemesi, kararsız parçacıklar üzerinde yapılan gözlem ve deneylerde net bir şekilde gözlemlenmiştir. Örneğin kozmik ışınların atmosferin üst katmanlarında soğrulması sonucu meydana gelen müonlar, durgun bir referans çerçevesinde ölçüldüğünde 2,2 μs'lik bir ömre sahip kararsız parçacıklardır. Bu yüzden müonlar, bozunmaya uğramadan 600 m yol alabilir (Şekil 5.4: a). Bu durumda müonların ortaya çıktığı atmosferin üst katmanlarından yere ulaşmaları mümkün değildir. Ancak yapılan ölçümler, birçok müonun yeryüzüne ulaştığını göstermektedir. Bu durum ancak zaman genişlemesi olgusu ile açıklanabilir. Burada 2,2 μs'lik ömür, müonlarla birlikte hareket eden referans çerçevesi için geçerlidir. 0,998 c'lik hıza ulaşan müonların ömrü, yerdeki bir gözlemci için 34 μs, katettikleri mesafe ise yaklaşık 10 400 m'dir (Şekil 5.4: b). Hareketli müonların ortalama ömrü durgun olanlarınkinden yaklaşık 16 kat daha uzundur.



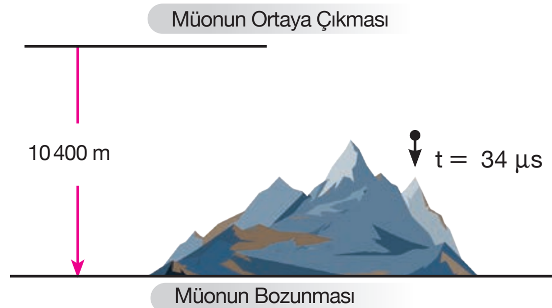
Şekil 5.3: a) *Vagon içindeki durgun gözlemciye göre ışığın izlediği yol*



Şekil 5.3: b) *Vagon dışındaki yere göre durgun bir gözlemci için ışığın izlediği yol*



Şekil 5.4: a) *Müonların kendi referans çerçevesinde ömürleri ve aldıkları yollar*



Şekil 5.4: b) *Yerdeki gözlemciye göre müonların ömürleri ve aldıkları yollar*

ETKİNLİK 1	Süre 40 dk.
Etkinliğin Adı	Zamanda Genişleme İllüzyon mu?
Etkinliğin Amacı	Bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak göreli zaman kavramını açıklayabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Metni okuyunuz, uygulama aşamalarında verilen adımları takip ederek etkinliği gerçekleştiriniz. Etkinliği tamamladıktan sonra "Etkinliğin Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Einstein'ın özel görelilik teorisinin tartışıldığı bir fizik dersinde öğretmen, konunun daha rahat anlaşılabilmesi için öğrencilere Interstellar (Yıldızlararası) filminden küçük bir bölüm izleterek Gargantua (Gargantua) isimli kara deliğin etrafındaki bir gezegende geçen 1 saatin, Dünya'daki 7 yıla karşılık geldiğini belirtiyor. Daha sonra ikizler paradoksundan kısaca bahsederek bu paradoksun çözümüne dair öğrencilerin görüşlerini alıyor. Dersin sonunda öğrencilerinden bu konu ile ilgili araştırma yapıp bir sonraki derse kadar bir sunum hazırlamalarını istiyor.

Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Üçer kişilik gruplar oluşturunuz.
2. Göreli zaman kavramı ve ikizler paradoksu ile ilgili araştırma yapınız.
3. Göreli zaman ve görelilik teorisinin konu edinildiği farklı film ve yayınlardan örnekler toplayınız.
4. Zaman genişlemesinin mümkün olup olamayacağını tartışarak bu konuda yapılmış deney ve çalışmalarla ilgili örnekler toplayınız.
5. Ulaştığınız bilgileri değerlendirirken ve düzenlerken bilgi ve iletişim teknolojilerinden yararlanınız.
6. Topladığınız örnekleri ve ulaştığınız bilgileri bir sunum hâline getirip arkadaşlarınızla paylaşınız. Bu paylaşım sırasında bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanınız.

Etkinliğin Değerlendirmesi

1. Diğer grupların hazırladığı sunumlarla karşılaştırdığınızda sunumunuzun güçlü ve zayıf yönleri nelerdir?



2. Diğer gruplardan farklı olarak hangi bilgileri sınıfınıza kazandırdınız?



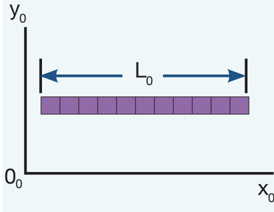
3. İkiz kardeşler için zamanın farklı şekilde ilerlemesi mümkün müdür?



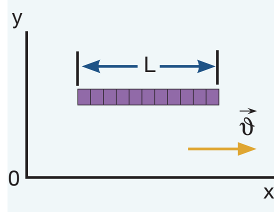
Göreli Uzunluk

İki olay arasındaki zaman aralığı, ölçüldüğü referans çerçevesine bağlıdır. Benzer şekilde iki nokta arasında ölçülen uzunluk da referans çerçevesine bağlıdır. Nesnenin hareket ettiği bir referans çerçevesinde hareket doğrultusunda ölçülen uzunluk değeri, durgun referans çerçevesinde ölçülen uzunluk değerinden daima daha kısadır. Ölçülen bu değer **göreli uzunluk,** olay ise **uzunluk büzülmesi** olarak adlandırılır.

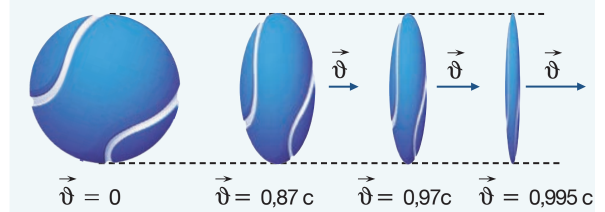
Çubuğa göre durgun bir gözlemci, çubuğun boyunu L_0 olarak ölçerse (Şekil 5.5: a) çubuğa göre ϑ hızıyla hareket eden bir gözlemci, çubuğun boyunu durgun boyundan daha kısa ölçer (Şekil 5.5: b). Uzunluk büzülmesi, yalnızca hareket doğrultusundadır. Hareket doğrultusuna dik olan uzunluklarda herhangi bir değişim gözlenmez. Şekil 5.6'daki küresel cisim, durgun bir gözlemciye göre hızlanarak ışık hızına yaklaşırsa cismin hareket doğrultusundaki boyutları kısalır. Zaman ve uzunluğun gözlem çerçevesine bağlı olması, Newton mekaniğindeki mutlak zaman ve mutlak boyut kavramlarını ortadan kaldırarak fizik dünyasını bambaşka bir yola sokmuştur.



Şekil 5.5: a) Çubuğa göre durgun bir çerçeveden bakıldığında çubuğun görülen boyu

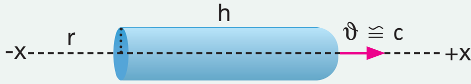


Şekil 5.5: b) Çubuğun bağıl ϑ hızına sahip olduğu bir çerçeveden bakıldığında çubuğun görülen boyu



Şekil 5.6: Durgun hâlden harekete başlayarak ışık hızına yakın hızlara ulaşan küresel bir cismin hareket doğrultusundaki boyutlarında meydana gelen büzülme

SORU 3



Şekilde verilen silindir biçimindeki bir cisim, yatay doğrultuda ışık hızına yakın ϑ hızıyla hareket etmektedir.

Durgun hâldeki bir gözlemciye göre cismin

I. Kütlesi artar.
II. Yarıçapı (r) azalır.
III. Boyu (h) kısalır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

I. Cismin hızının kütlesine herhangi bir etkisi yoktur. Hangi hızla giderse gitsin cismin kütlesi sabittir. Bu nedenle I. ifade yanlıştır.
II. Hareket doğrultusuna dik olan uzunluklarda herhangi bir değişim gözlemlenmez. Bu nedenle II. ifade de yanlıştır.
III. Hareket doğrultusuna paralel olan uzunluklar kısalır. Bu nedenle III. ifade doğrudur. Sorunun cevabı yalnız III'tür.

SORU 4

Ege ve Alper 20 yaşında ikiz kardeşlerdir. Ege, ışık hızına yakın hızlarda hareket eden bir uzay aracıyla alternatif gezegen arama çalışmaları kapsamında bir gezegene yolculuk yapıyor ve sonra Dünya'ya dönüyor. Ege, Dünya'ya döndükten sonra Dünya'da pek çok şeyin değiştiğini ve ikizi Alper'in 60 yaşında olduğunu görüyor.

Dünya eylemsiz bir referans sistemi olarak düşünüldüğünde bu olayla ilgili

I. Ege, ikizine oranla daha çok yaşlanmıştır.
II. Uzay aracındayken Ege'nin vücut fonksiyonları Alper'in vücut fonksiyonlarına göre daha yavaştır.
III. Ege, uzaydaki seyahati esnasında bir dizi hızlanmalar ve yavaşlamalar yaşadığı için eylemli (ivmeli) bir referans sistemindedir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

I. Ege, Dünya'ya döndüğünde ikizi Alper'e göre daha genç olacaktır. Bu nedenle I. ifade yanlıştır.
II. Uzay gemisi, Alper'e göre bağıl ϑ hızına sahip olduğu için özel görelilik kuramına göre uzay gemisinde zaman daha yavaş akar ve Ege'nin vücut fonksiyonları yavaşlar. Bu nedenle II. ifade doğrudur.
III. Uzay gemisi, daima sabit büyüklükte bir hızla hareket edemeyeceği için eylemli (ivmeli) bir referans sistemindedir. Bu nedenle III. ifade doğrudur. Sorunun cevabı II ve III'tür.

UYGULAMA » 4

Bir grup astronot, ışık hızına yakın bir hızla hareket etmekte olan uzay gemisiyle Satürn gezegenine gidip geliyor. Astronotlar, Dünya'ya döndükten sonra banka hesaplarını kontrol ediyor ve görev sırasında biriken maaşlarını çekmek istiyor. **Sizce astronotlar nasıl bir sürprizle karşılaşmıştır?**

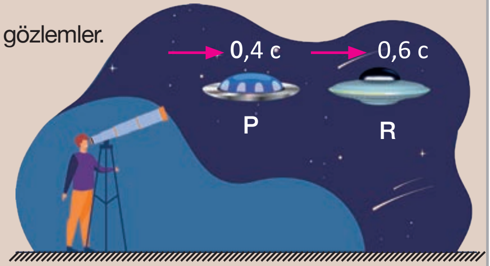
UYGULAMA » 5

Şekildeki uzay araçları yere göre durgun iken Alp, uzay araçlarının boylarını L olarak ölçüyor.

Uzay araçları yere göre şekilde verilen hızlarla hareket ederken

I. P aracındaki astronot, kendi uzay aracının boyunu L'den daha kısa gözlemler.
II. Alp, R aracının boyunu P aracının boyundan daha kısa gözlemler.
III. Alp'a göre her iki uzay aracında da zaman genişlemesi meydana gelir.
IV. P aracındaki astronot, Alp'ın teleskobunun boyunu daha kısa algılar.

ifadelerinden hangileri doğrudur?



5.1.4. Kütle-Enerji Eş Değerliği

Einstein, 1905 yılında özel göreliliği ortaya koyduğu "Hareket Eden Cisimlerin Elektrodinamiği Üzerine" başlıklı makalesinde enerjinin varlığının beraberinde bir kütle getirdiğini ileri sürmüştür. Bu düşüncesini $E = m \cdot c^2$ denklemiyle ortaya koyarak kütlenin, bir cismin içerdiği enerjinin doğrudan ölçüsü olduğunu belirtmiştir.

Einstein'ı bu denklemi ortaya koymaya iten temel kavram radyoaktivitedir. Örneğin radyoaktif bir element olan radyum, çevresine enerji yayarken kütle kaybeder. Alman fizikçi Max Planck (Maks Plank) ise daha da ileri giderek sıcak bir cismin kütlesinin soğuk bir cismin kütlesinden daha fazla olacağını söylemiştir. Örneğin ısıtılan bir tavanın, kütlesinin artacağını ileri sürmüştür. Kütlenin enerjiyi taşımanın bir yolu olduğuna dair güçlü kanıtların ortaya koyulmasıyla beraber kulağa tuhaf gelen bu fikrin doğruluğu ortaya çıkmıştır. Çift oluşumu tepkimeleri, enerjinin kütleye dönüşümünün, yok olma tepkimeleri ise kütlenin enerjiye dönüşümünün önemli birer kanıtıdır.

UYGULAMA » 6

Hassas kütle ölçümlerinin yapılabildiği bir laboratuvarda Einstein'ın, kütle-enerji eş değerliği ilkesi üzerine deneyler yapılıyor.

Kütle-enerji eş değerliği deneylerinde

I. bir tavanın ısıtılarak kızgın hâle getirildiğinde kütlesinin arttığı,
II. çekirdek tepkimelerinde yayılan gama fotonları sonrası çekirdek kütlesinin azaldığı,
III. ışık hızına yakın hızda hareket eden bir cismin kütlesinin arttığı

sonuçlarından hangilerine ulaşılabilir?

2\. BÖLÜM

5.2. KUANTUM FİZİĞİNE GİRİŞ



Anahtar Kavramlar

Siyah Cisim Işıması

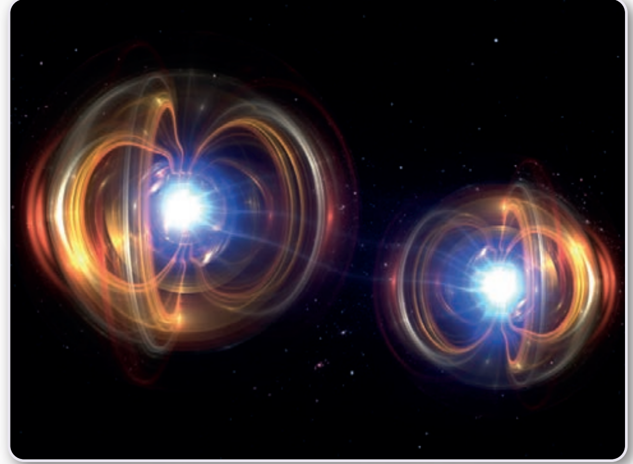


NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde siyah cisim ışıması, Planck hipotezi kullanılarak açıklanacak, dalga boyu-ışıma şiddeti grafiğinden hareketle klasik ve modern yaklaşım arasındaki çelişki üzerinde durulacak ve bu çelişkinin kuantum fiziğinin doğuşuna etkisi vurgulanacaktır.



DOLANIKLIK



Kuantum fiziği, tüm bilimsel alanlar içerisinde en tuhaf olanıdır. Çok küçüklerin dünyasına hükmeden doğa kanunlarını açıklayan kuantum kuramında her şey bulanıktır. İncelenen tüm varlıkların, fotonların, elektronların, kuarkların son derece gizemli ve tuhaf yanları vardır. Bununla birlikte kuantum dünyasındaki hiçbir şey, dolanıklık etkisinden daha tuhaf değildir. Aralarında milyonlarca kilometre uzaklık olan iki parçacığın gizemli bağı, parçacıklardan birinde meydana gelen değişimin anında diğerine de yansımasına neden olur. Kuantum mekaniğine göre bir parçacık üzerinde yapılacak bir ölçüm, diğer parçacığın özelliklerini anında değiştirir. Dolanıklık denilen bu uzaktan etki, parçacıkları ve fotonları özel bir şekilde birbirine bağlar. Örneğin elektronlarından biri, iki enerji düzeyi arasında emisyon yapan atomun yaydığı iki foton dolanıktır ve birbirinden ne kadar uzaklaşırsa uzaklaşsın bu iki foton sonsuza kadar engellenemez şekilde birbirine bağlıdır.

Önce 1972'de iki Amerikalı fizikçi John Clauser (Can Klavsır) ve Stuart Freedman (Sutuvıt Firidmın), birkaç yıl sonra Fransız fizikçi Alain Aspect (Alen Aspe), dolanıklık etkisine dair sağlam kanıtlar sunmuşlardır. Ancak her ne olursa olsun makro evrende yaşayan, gözlem yapan bizler için mikro evrende gerçekleşen dolanıklığın ve bununla ilişkili kuantum olgularının gerçekliğini anlamak ve kabullenmek oldukça zordur.



HAZIRLIK SORULARI

1. Kuantum kuramı nedir?
2. Birbirinden milyonlarca kilometre uzakta bulunan iki parçacık arasında bilgi alışverişi nasıl gerçekleşmektedir?
3. Dolanık fotonlar arasındaki bilgi alışverişi, ışık hızından yüksek bir hızla gerçekleşebilir mi?

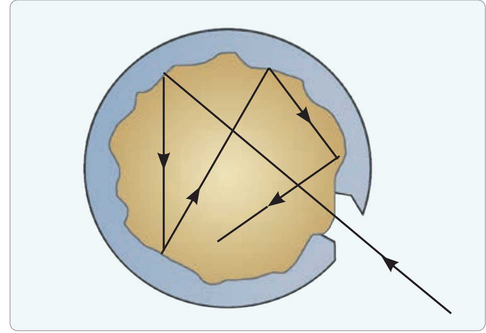
5.2.1. Siyah Cisim Işıması


Görsel 5.4: *Kor hâline gelmiş kömür parçaları arasındaki ışıma*

Maddeler sıcaklıklarına bağlı olarak farklı frekanslarda ışımalar yapar. Bu ışıma, madde taneciklerinin yaptığı titreşim hareketinin bir sonucudur. Yayınlanan dalgaların enerjisi, taneciklerin titreşim hareketine; titreşim hareketinin şiddeti de maddenin sıcaklığına bağlıdır.

Maddenin, sıcaklığa bağlı olarak farklı frekanslarda elektromanyetik dalgalar yayması olayına **termal ışıma** denir. Düşük sıcaklık değerlerinde yapılan ışımaların dalga boyu, elektromanyetik dalga spektrumunda kızılötesi bölgeye karşılık geldiği için bu ışımalar çıplak gözle görülemez. Cisim, sıcaklığı arttıkça kızarmaya başlar. Cisim yeterince yüksek bir sıcaklığa ulaştığında var olan kırmızı renkteki ışımaya sarı, yeşil ve mavi renkler eklenir. Daha sonra cisim, bir ampulün tungsten filamanının parıldaması gibi beyaz renkte ışıma yapar. Yıldızlar da bu sırayı izler. Bir yıldızın sıcaklığı ne kadar yüksek olursa rengi de o kadar maviye kayar. En soğuk yıldızlar kırmızı, en sıcak yıldızlar ise mavi renkli ışıma yapar. Sıcaklığın yükselmesiyle beraber yapılan ışıma, tayfın morötesi kısmına kayar. Termal ışıma, elektromanyetik spektrumun kızılötesi, görünür ve morötesi dalga boylarının dağılımından meydana gelir.

Güneş'te veya kamp ateşinde termal ışıma rahatlıkla gözlemlenirken Görsel 5.4'teki gibi kor hâline gelen odun ya da kömür parçalarında kızarıklığın gözlemlenmesi zaman alır. Odanızın duvarı için bu ışınım görünmezdir. Çünkü söz konusu ışınım, elektromanyetik spektrumda görünür bölgenin dışındadır.


Şekil 5.7: *İdealleştirilmiş siyah cisim modeli*

Cisimler, bir yandan üzerlerine düşen ışığı yansıtırken diğer taraftan sahip oldukları sıcaklık değerine bağlı olarak belirli dalga boylarında ışıma yapar. Bu nedenle herhangi bir cisimden yayılan termal ışımayı belirlemek oldukça güçtür. Deneysel çalışmalarda termal ışımanın özelliklerinin tam olarak belirlenebilmesi için üzerine düşen ışığı tamamen soğuran bir cismin kullanılması şarttır. Bu şekilde üzerine düşen ışığın tamamını soğuran ve sıcaklık değerine bağlı olarak her dalga boyunda ışıma yapabilen cisimlere **siyah cisim,** bu cisimlerin yaptığı termal ışımaya ise **siyah cisim ışıması** denir. Böyle bir cisim bulmak imkânsızdır. Ancak Şekil 5.7'de gösterilen oyuk cismin içi, ideal bir yaklaşımla siyah cisim olarak kabul edilebilir. Delikten oyuğa giren ışık, ardışık yansımalar yapar ve oyuk tarafından hapsedilir. Işığın tüm enerjisi oyuk tarafından soğrulur. Bu yüzden ışığın tekrar dışarı çıkma ihtimali çok zayıflar.

SORU 1

Maddenin, sıcaklığa bağlı olarak farklı frekanslarda elektromanyetik dalgalar yayması olayına termal ışıma denir.


I. Görsel: Güneş


II. Görsel: Soğuk algınlığı yaşayan çocuk


III. Görsel: Buz parçaları

Verilen görsellerden hangilerinde termal ışıma yapılmaktadır?

ÇÖZÜM

Maddeler sıcaklıklarına bağlı olarak farklı frekanslarda ışımalar yapar. Bu ışımalardan bazıları görünür bölgede olmadığı için insan gözü tarafından algılanamaz.

I. görselde Güneş'in yaptığı ışıma insan gözü tarafından algılanırken II ve III. görseldeki ışımalar algılanamaz. Dolayısıyla her üç görselde de termal ışıma yapılmaktadır.

UYGULAMA » 1

Yeryüzünde tam anlamıyla siyah bir cisim bulmak imkânsız olduğu için Gustav Kirchhoff (Gustav Kirşof) tarafından çeperinde küçük bir boşluk açılmış içi oyuk bir cisim, ideal siyah cisim olarak betimlenmiştir.

Buna göre ideal bir siyah cismin özellikleri ile ilgili

I. Üzerine düşen ışığı soğurmayıp ışığın tamamına yakınını yansıtır.

II. Teorik olarak hiçbir yansıtma yapmadan üzerine düşen tüm enerjiyi soğurur.

III. Yaptığı ışımanın dalga boyu, sıcaklığına bağlıdır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

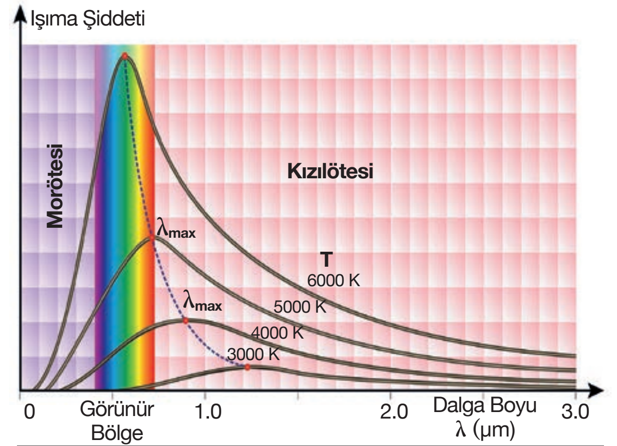
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda farklı sıcaklık değerleri için siyah cismin ışıma şiddetinin, ışınım dalga boyuna bağlı değişim grafiği elde edilmiştir (Grafik 5.1). Grafik incelendiğinde iki önemli sonucun ortaya çıktığı görülmektedir.

1. Cisim, herhangi bir sıcaklık değerinde sadece tek bir dalga boyunda maksimum şiddette ışıma yapmaktadır. Sıcaklık arttıkça ışıma şiddetinin maksimum olduğu tepe noktası, kısa dalga boylarına doğru kaymaktadır. Bu kayma, Wien (Viin) Kayma Yasası olarak bilinir ve

$$\lambda_{max} \cdot T = 0{,}2898 \cdot 10^{-2} \text{ mK}$$

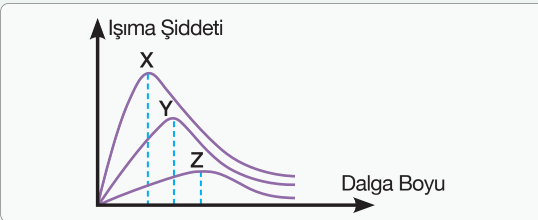
eşitliği ile ifade edilir. Denklemde λ_{max} eğrinin tepe noktasına karşılık gelen dalga boyu, T ise ışınım yapan cismin kelvin cinsinden sıcaklık değeridir.

2. Cismin sıcaklığı arttıkça ışıma frekansı ve ışıma şiddeti artmaktadır.



Grafik 5.1: Farklı sıcaklık değerleri için siyah cismin ışıma şiddetinin ışınım dalga boyuna bağlı değişim grafiği

SORU 2



Aynı ortamda bulunan X, Y ve Z cisimlerine ait ışıma şiddeti-dalga boyu grafiği şekildeki gibidir.

Buna göre

I. Y cisminin sıcaklığı 3000 K ise X cisminin sıcaklığı 2000 K, Z cisminin sıcaklığı 4000 K'dir.

II. Y cisminin maksimum şiddette yaptığı ışımanın rengi yeşil ise X cisminin yaptığı ışımanın rengi mavi, Z cisminin yaptığı ışımanın rengi kırmızıdır.

III. X cisminden yayılan elektromanyetik dalgalar, Z cisminden yayılan elektromanyetik dalgalardan daha hızlıdır.

ifadelerinden hangileri doğru olabilir?

ÇÖZÜM

I. Siyah cisim ışımasında sıcaklık ile ışıma şiddeti doğru orantılıdır. Bu yüzden cisimlerin sıcaklıkları arasında $T_x > T_y > T_z$ ilişkisi vardır. I. ifade yanlıştır.

II. Maksimum şiddette yaptığı ışıma değeri büyük olan cisimlerden yayınlanan elektromanyetik dalgaların enerjisi yüksektir. Mavi ışığın enerjisinin yüksek, kırmızı ışığın enerjisinin düşük olduğu göz önüne alındığında II. ifadenin doğru olduğu ortaya çıkar.

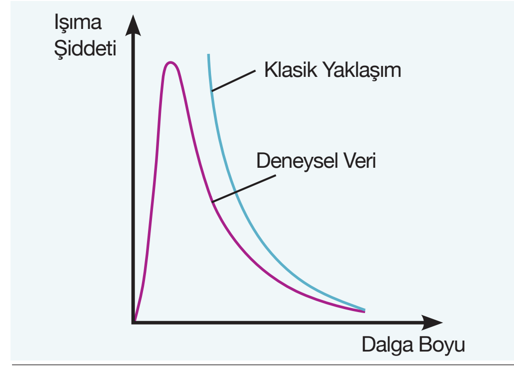
III. Aynı ortamda yayılan elektromanyetik dalgaların hızları eşit büyüklüktedir. Dolayısıyla III. ifade yanlıştır.

Doğru cevap yalnız II'dir.

UYGULAMA » 2

Yüzey sıcaklığı 6 000 K olan Güneş, yüzey sıcaklığı 3 000 K olan kızıl dev yıldız Betelgeuse ve yüzey sıcaklığı 10 000 K olan Sirius A yıldızlarının yüzeylerinden yayılan ışınımların tepe dalga boylarını karşılaştırınız.

Siyah cisim ışımasının deneysel verilerden elde edilen grafiği klasik fizik yasalarının teorik öngörüsüyle birlikte Grafik 5.2'de verilmiştir. Klasik fizik yasalarına göre yayınlanan ışığın frekansı arttıkça enerjisinin artması ve yüksek frekanslı, düşük dalga boylu salınımların enerjisinin morötesi bölgeyi geçerek sonsuza gitmesi gerekir. Bu öngörü, **morötesi felaket** olarak adlandırılmakta ve uzun dalga boylarında deneysel verilerle örtüşmesine rağmen kısa dalga boylarında örtüşmemektedir.



***Grafik 5.2:** Siyah cisim ışımasının klasik yaklaşım ve deneysel verilerden elde edilen eğrileri*

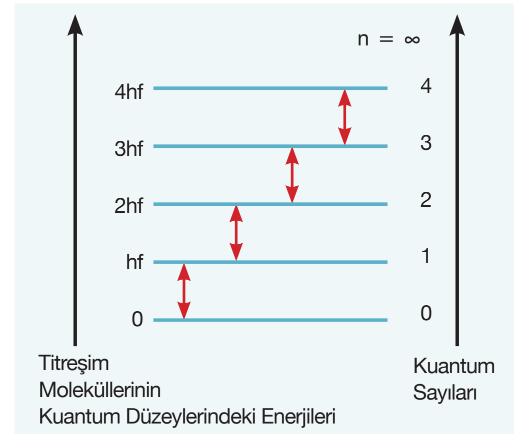
Yüksek frekanslardaki salınımların enerjisinin artarak morötesi bölgeyi geçmesi beklenirken sıfıra düşmesi, birçok bilim insanının zihnini kurcalamıştır. Bunlardan birisi de Max Planck'tır. Titiz ve çalışkan bir bilim insanı olan Planck, 1900 yılında siyah cisim ışıması için tüm dalga boylarında deneysel verilerle tam uyum içerisinde olan bir denklem ortaya koymuştur. Planck, kendi adıyla anılan teorisinde iki varsayım öne sürmüştür.

1. Bir cisim üzerinde yer alan moleküller, belli frekans değerlerinde titreşir ve sürekli olmayan kesikli enerji değerlerine sahiptir. n kuantum sayısını ifade eden pozitif bir tam sayı, f moleküllerin titreşim frekansı ve h Planck sabiti (6,626 x 10^{-34} J · s) olmak üzere ışınım enerjisi (E),

$$E = n \cdot h \cdot f$$

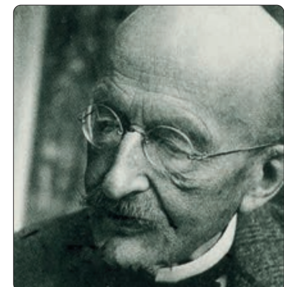
bağıntısıyla bulunur.

2. Moleküller, kuanta (paketçik) adı verilen belli büyüklükteki kümeler hâlinde enerji yayar ya da soğurur. Bu yayılım, moleküllerin bir enerji düzeyinden diğerine geçişi sırasında gerçekleşir (Grafik 5.3). Ardışık iki kuantum düzeyi arasındaki enerji farkı $E = h \cdot f$ bağıntısıyla hesaplanır. Molekül, aynı kuantum düzeyinde kalırsa enerji soğrulmaz ya da yayınlanmaz.



***Grafik 5.3:** Planck hipotezine göre kuantumlu enerji düzeyleri*

Planck'ın (Görsel 5.5), 1900 yılında kuantum mekaniğini ortaya çıkaran devrim boyutundaki adımı, kesikli enerji kavramını öne çıkararak ışığın tanecik kuramını yeniden canlandırmıştır. Planck hipotezi; 1905 yılında Einstein'ın fotoelektrik olayını, 1913 yılında ise Bohr'un atom kavramını açıklamasına önayak olmuştur. Planck, çok yüksek frekanslarda ışıma yapmak için gerekli olan enerji paketlerini atomun yayınlayamayacağını ancak düşük frekanslarda pek çok düşük enerjili paket yayınlayabileceğini belirterek morötesi felaket çıkmazını sona erdirmiştir. Planck'ın çalışmalarının bilim insanları tarafından özümsenmesi uzun yıllar sürmüş, hatta Planck'ın Nobel Ödülü'nü alması 1918 yılını bulmuştur.



***Görsel 5.5:** Max Planck*

UYGULAMA » 3



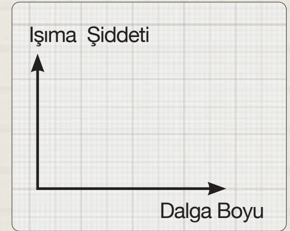


Bir grup öğrenci, siyah cisim ışımasının konu edildiği bir fizik dersinde oda sıcaklığındaki ve kor hâlindeki kömür parçalarını karşılaştırmak istiyor.

- **Aslı:** Oda sıcaklığında bulunan kömürün ışıma şiddeti, kor hâlindeki kömürün ışıma şiddetinden daha düşüktür.
- **Öykü:** Oda sıcaklığında bulunan kömür, hiç ışıma yapmadığı için tamamen siyah görünür ve ideal bir siyah cisimdir.
- **Yamaç:** Sıcaklığın artması ile kömür kor hâline gelir ve görünür bölgede ışıma yapmaya başlar.
- **Yaman:** Oda sıcaklığındaki kömür yalnızca kızılötesi bölgede, kor hâlindeki kömür ise yalnızca görünür bölgede ışıma yapar.
- **Özgü:** Sıcaklığı ne olursa olsun (mutlak sıfır hariç) bütün cisimler ışıma yapar. Bu yüzden her iki sıcaklıkta da kömür parçaları ışıma yapmıştır.

a) Öğrencilerden hangilerinin yaptığı yorum doğrudur?

b) Öğrencilerin yaptıkları çıkarımlardan yararlanarak bu iki cismin ışıma şiddetinin ışınımın dalga boyuna bağlı değişim grafiğini çiziniz.



SORU 3

Sıcaklığı artan bir cismin, maksimum ışıma şiddetinde yaydığı elektromanyetik dalgalara ait

I. hız,
II. frekans,
III. dalga boyu

nicelikleri nasıl değişir? Açıklayınız.

ÇÖZÜM

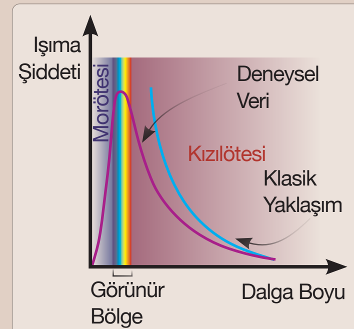
I. Hız, ortama bağlı olduğundan sıcaklık artsa dahi elektromanyetik dalgalar, ortam değiştirmedikleri sürece sabit büyüklükte bir hızla yayılır. Dolayısıyla hızın büyüklüğü değişmez, sabittir.

II. Sıcaklığın artması, yayınlanan ışınların frekansını artırır.

III. Sıcaklığın artması, yayınlanan ışınların dalga boyunu azaltır.

UYGULAMA » 4

Siyah cisim ışıması ile ilgili bir ödev hazırlayan Efe, yanda verilen dalga boyu-ışıma şiddeti grafiğini incelediğinde klasik yaklaşımla deneysel sonuçlar arasında bir tutarsızlık olduğunu fark ediyor.



Efe'nin grafikle ilgili

I. Klasik yaklaşıma göre yapılan ışımanın dalga boyu azalıp frekansı arttıkça ışıma şiddeti ve enerjisi artarak spektrumda morötesi bölgeyi geçer.
II. Kısa dalga boylarında klasik fizik yasaları ile deneysel veriler uyum içerisindeyken uzun dalga boylarında farklılık ortaya çıkar.
III. Deneysel sonuçlara göre ışımanın dalga boyu azalırken ışıma şiddeti belli bir değerden sonra azalarak sıfıra yaklaşır.

çıkarımlarından hangileri doğrudur?

5.3. FOTOELEKTRİK OLAYI



Anahtar Kavramlar

Fotoelektrik Olayı



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde Hertz'in çalışmaları ve Einstein'ın fotoelektrik denkleminden yola çıkılarak foton kavramı ve fotoelektrik olayı açıklanacak, simülasyonlar yardımıyla fotoelektrik olayına etki eden değişkenlerin gözlemlenmesi ve yorumlanması sağlanacaktır. Farklı metaller için maksimum kinetik enerji-frekans grafiğinin incelenmesi sağlanarak fotoelektronların sahip olduğu maksimum kinetik enerji, durdurma gerilimi ve metalin eşik enerjisi arasındaki matematiksel ilişki ortaya konacaktır. Fotoelektrik olayının günlük hayattaki olumlu ve olumsuz etkileri üzerinde durularak fotoelektrik olayıyla ilgili matematiksel hesaplamalar yapılacaktır.



5. SOLVAY KONFERANSI: ELEKTRONLAR VE FOTONLAR



Solvay Konferansları, 1911 yılından beri fizik ve kimya alanında periyodik bir şekilde düzenlenen ve alanında önemli başarılara imza atmış bilim insanlarının katıldığı bilimsel toplantı serisidir. Ernest Solvay (Ernest Solvey) isimli bir iş insanının desteği ile düzenlendiği için bu ismi almıştır.

1927 yılında düzenlenen 5. Solvay Konferansı; Marie Curie, Albert Einstein, Arthur Holly Compton, Louis Victor de Broglie, Niels Bohr gibi bilim tarihinin önemli bilim insanlarının katılımıyla gerçekleşmiş en popüler toplantıdır. Bu konferansta çekilen fotoğraf, bilim tarihinin bu önemli anını ölümsüzleştirmiştir.

"Elektronlar ve Fotonlar" konulu bu toplantıya katılan 29 bilim insanından 17 tanesi Nobel Ödülü sahibidir. Bu konferans, modern kuantum teorisinin dünyaya açıklanması açısından tarihî bir dönüm noktasıdır. Kuantum mekaniğindeki parçacık ve dalga özelliklerinin birbirini tamamladığını savunan Bohr ile bir teorinin olasılığı değil, somut şeyleri tarif etmesi gerektiğini vurgulayan Einstein arasındaki fikir ayrılığı bu toplantıda öne çıkan konulardan biri olmuştur.



HAZIRLIK SORULARI

1. 1927 yılında düzenlenen 5. Solvay Konferansı'nın ön plana çıkmasının nedeni nedir?
2. Yukarıdaki fotoğrafta yer alan bilim insanlarından hangilerini tanıyorsunuz? Tanıdığınız bu bilim insanları hangi alanlarda ne gibi çalışmalar yapmıştır?
3. Sizce kuantum mekaniği günlük hayatınıza ne gibi katkılar sağlayabilir? Açıklayınız.

5.3.1. Foton Nedir?

Einstein, özel görelilik kuramını ortaya koyarak uzayı zamanla, kütleyi de enerjiyle birleştirmiştir. Aynı dönemde Planck, kuanta (paketçik) kavramıyla ilgili çalışmalar yapmış, ışığın paketçikler hâlinde yayınlanıp soğrulduğu fikrini ileri sürmüştür. Einstein, bu fikri bir adım öteye taşıyarak ışığın aynı zamanda paketçikler hâlinde var olduğunu savunmuştur. Işık demetini meydana getiren bu küçük enerji paketleri, başlangıçta zerrecikler olarak adlandırılırken 1926 yılında Gilbert Lewis'in (Cilbırt Levis) önerisi üzerine **foton** adını almıştır.

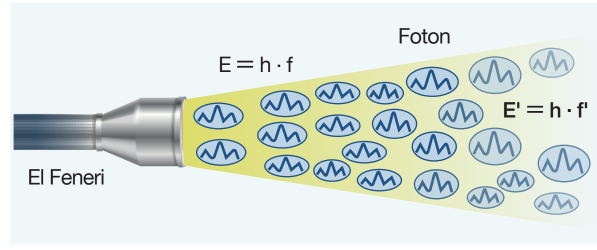
Fizikçiler, bariz biçimde dalga özellikleri gösteren bir nesneyi başlangıçta parçacık gibi düşünmek istemeseler de elektron, proton, müon gibi fotonun da bir parçacık olduğunu zamanla kabullenmek durumunda kalmışlardır. Fotonların genel özellikleri şu şekilde ifade edilebilir:

- Fotonlar, boşlukta ışık hızıyla hareket eder.
- Higgs alanıyla etkileşmedikleri için fotonların kütleleri ve durgun enerjileri yoktur.
- Kütlesi olmamasına rağmen fotonlar, elektron gibi kütleli parçacıklarla etkileşime girebilir.
- Diğer kütleli parçacıklar gibi fotonların da enerji ve momentumları vardır.
- Fotonlar, elektrikçe yüksüz olduklarından elektrik alanından ve manyetik alandan etkilenmez.
- Fotonlar ışıma yayınlandığında oluşur, soğrulduğunda yok olur.
- Fotonlar, hiçbir sistemde durgun olarak bulunamaz.

Bir ışık kaynağından yayılan (Görsel 5.6) f frekanslı bir fotonun enerjisi (E); h Planck sabiti, λ ışığın dalga boyu ve c ışık hızı olmak üzere şu şekilde ifade edilir:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Bu bağıntıdan anlaşılacağı üzere fotonun enerjisi, ışığın frekansı ile doğru, dalga boyu ile ters orantılıdır.



Görsel 5.6: *Farklı frekansta birçok foton yayan el feneri*

Bu bağıntıda frekansın birimi saniye^{-1} (s^{-1}), ışık hızının birimi metre/saniye (m/s), dalga boyunun birimi ise metre (m) olarak alınacak olursa fotonun enerjisi joule (J) cinsinden elde edilir. Ancak foton, küçük bir enerji değerine sahiptir. Bu nedenle fotonun enerjisi elektronvolt (eV), dalga boyu ise angström (Å) olarak alınacak olursa (h · c) çarpımının değeri yaklaşık 12 400 eV · Å olarak bulunur. Bu durumda bir fotonun enerjisi elektronvolt cinsinden

$$E = \frac{12\,400 \text{ eV} \cdot \text{Å}}{\lambda}$$

eşitliği ile hesaplanır.

SORU 1

4000 Å dalga boylu bir mavi ışık fotonunun enerjisini elektronvolt (eV) ve joule (J) cinsinden hesaplayınız.

($h \cdot c = 12\,400$ eV · Å; 1 eV = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J)

ÇÖZÜM

Bir fotonun enerjisi

$$E_f = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \qquad E_f = \frac{12\,400 \text{ eV} \cdot \text{Å}}{\lambda}$$

bağıntısıyla bulunur.

E = 12 400/4 000 = 3,1 eV (elektronvolt cinsinden fotonun enerji değeri)

$E = 3{,}1 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 4{,}96 \cdot 10^{-19}$ J (joule cinsinden fotonun enerji değeri)

UYGULAMA » 1

Enerjisi atomun 1. uyarılma enerji seviyesinden yüksek olan bir elektron, atomu uyarabilirken aynı enerjiye sahip bir foton atomu uyaramamaktadır.
Bu durumun sebebi nedir? Açıklayınız.

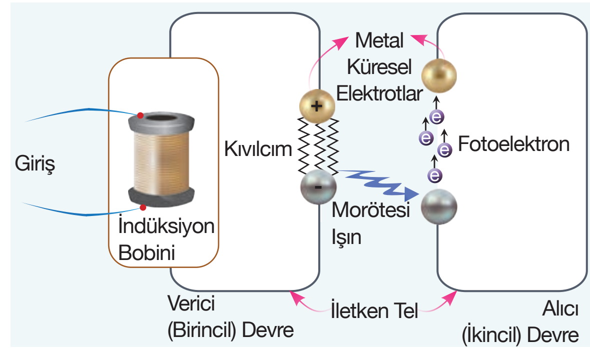
UYGULAMA » 2

Işığı oluşturan enerji paketlerine foton denir.
Fotonlarla ilgili
I. Aynı ortamda farklı büyüklükte hızlarla hareket edebilir.
II. Yüksek gerilim altında durdurulabilir.
III. Enerjisi, frekans ile doğru, dalga boyu ile ters orantılıdır.
ifadelerinden hangileri doğrudur?

5.3.2. Fotoelektrik Olayı

Bilim insanları, uzun yıllar boyunca ışığın doğası ve madde ile etkileşimi üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Özellikle 19. yüzyılda hız kazanan bu çalışmalarda bazı yüzeylerin üzerine düşürülen ışığın, bu yüzeylerin elektron kaybetmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmalar günümüzde de devam etmekte, ışığın doğası ve madde ile etkileşimi hakkında yeni verilere ulaşılmaktadır.

Maxwell'in 1873 yılında ışığın yüksek frekanslı elektromanyetik dalga olduğunu açıklamasının ardından 1887 yılında Heinrich Hertz (Henrih Hertz), Maxwell teorisinin deneysel ispatını gerçekleştirmiştir. Hertz, elektromanyetik dalgalar üzerinde çalışırken bir indüksiyon bobini ve küresel elektrotlar kullanarak Şekil 5.8'deki düzeneği tasarlamıştır.



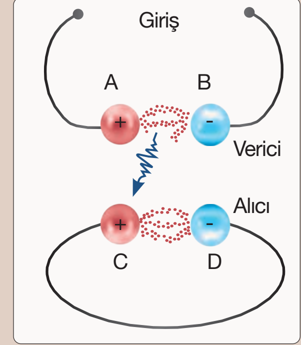
***Şekil 5.8:** Hertz'in fotoelektrik etkisini gözlemlediği düzeneğin şematik gösterimi*

İndüksiyon bobini, verici (birincil) devredeki küresel elektrotları yükleyerek elektrotların arasında bir kıvılcım oluşmasına neden olur. Bu kıvılcımlar nedeniyle oluşan morötesi ışınlar, alıcı (ikincil) devredeki küresel elektrotlardan birinin üzerine düşerek buradan elektron söker. Sökülen bu elektronların diğer küresel elektrota ulaşmasıyla alıcı devrede bir elektrik akımı meydana gelir. Bu düzenekte vericideki morötesi ışıma engellendiğinde alıcıda da herhangi bir akım oluşmadığı görülür. Bu durum, alıcıdaki fotoelektrik akımın, vericinin yaydığı elektromanyetik dalgalar tarafından oluşturulduğunun bir göstergesidir. Hertz, oluşturduğu bu düzenekle fotoelektrik etkisini hava ortamında ilk kez gözlemleyen bilim insanı olmuştur.

Bu olayı tümüyle açıklığa kavuşturan ve bu olayla ilgili matematiksel bir model ortaya koyan bilim insanı Einstein'dır. Fotoelektrik etkisi üzerine yaptığı çalışmalar, Einstein'a 1921 yılı Nobel Fizik Ödülü'nü getirmiştir.

UYGULAMA » 3

Hertz, 1887 yılında bir indüksiyon bobini yardımıyla şekilde verilen A ve B küreleri arasına gerilim uyguladığında küreler arasında yük geçişi olduğunu, bu yük geçişi sonucunda morötesi ışınlar oluştuğunu tespit etmiştir. Bu elektromanyetik dalgalar, karşıda bulunan C topuzuna ulaşarak C ve D küreleri arasında bir elektrik akımı meydana getirmiştir.



Buna göre

I. Hertz, yüklerin ivmeli hareketi sonucu elektromanyetik dalgaların oluştuğunu kanıtlamıştır.

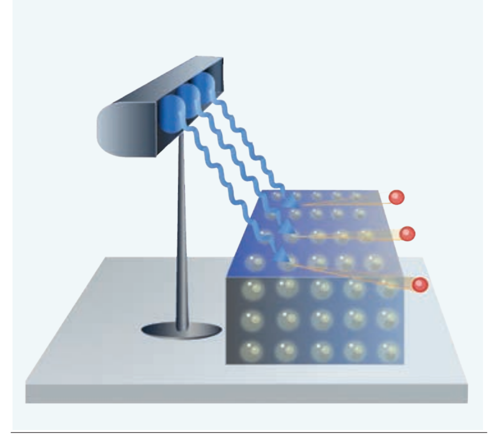
II. A ve B küreleri arasında kızılötesi dalgalar oluşmuş olsaydı C ve D küreleri arasında daha şiddetli bir elektrik akımı meydana gelirdi.

III. C küresinin A ve B kürelerine bakan yüzeyi kapatılsa da akım oluşurdu.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

Bir ışık kaynağından yayılan fotonların, maddenin yüzeyine düşürülmesi sonucunda maddeden elektron koparılması olayına **fotoelektrik olayı**, bu olay sonucu maddeden kopan elektronlara **fotoelektron** denir (Şekil 5.9). Fotoelektrik olayı, ışığın tanecikli yapısını ortaya koyar.

Bir metalin yüzeyine düşürülen her ışık, o metalden elektron koparamaz. Fotoelektrik akımının oluşabilmesi için fotonların enerjisinin belli bir değerin üzerinde olması gerekir. Metal yüzeyi oluşturan atomlardan elektron koparılabilmesi için metale aktarılması gereken en küçük enerji değerine o metalin **eşik enerjisi** (bağlanma enerjisi, iş fonksiyonu) denir. Fotonun enerjisi, eşik enerjisine eşit ya da ondan büyük değerde ise foton soğrulur ve atomdan elektron koparılır. Bu işlem sonucunda fotoelektronun kinetik enerjisinin (E_K) alabileceği en büyük değer, fotonun enerjisinden (E) metalin eşik enerjisinin (E_0) çıkarılması ile bulunur. Enerjisi ne kadar büyük olursa olsun bir foton, yüzeyden ancak bir elektron sökebilir. Bu durum Einstein tarafından



Şekil 5.9: Fotoelektrik olayının şematik gösterimi

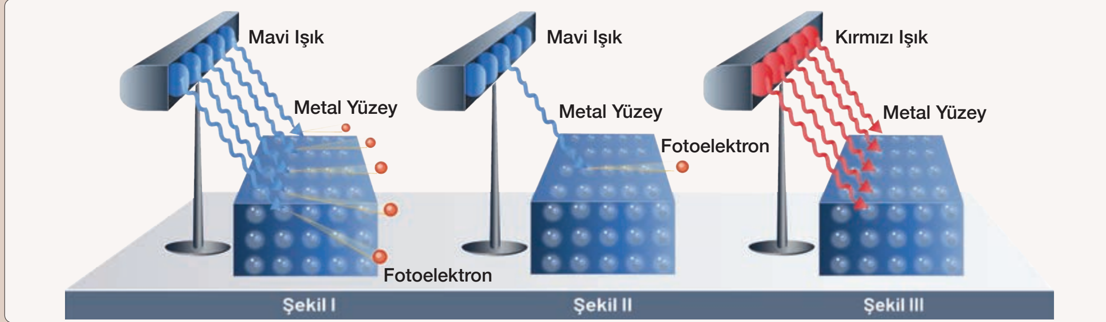
$$E_{foton} = E_{eşik} + E_{K\,(max)}$$

denklemiyle ortaya konmuştur.

Einstein'ın fotoelektrik denklemi incelendiğinde ulaşılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Fotoelektrik olayında önemli olan, ışık ışınlarının taşıdığı toplam enerji miktarı değil, her bir fotonun enerjisidir.
- Fotonların elektron sökebilmesi için enerjilerinin yüzeyin eşik enerjisine eşit ya da yüzeyin eşik enerjisinden büyük olması gerekir.
- Fotoelektrik olayı sırasında foton soğrulur.
- Fotoelektrik olayı sırasında fotonlar, elektronlar ile birebir etkileşir. Diğer bir deyişle enerjisi ne kadar yüksek olursa olsun tek bir foton, yüzeyden ancak tek bir elektron koparabilir.
- Fotoelektrik olayı, ışığın tanecikli yapısını gösteren bir olaydır.

UYGULAMA » 4



Fotoelektrik olayının açıklandığı bir dersin sonunda öğretmen, yukarıdaki şekilleri göstererek öğrencilerinden yorumlamalarını istiyor. Öğrenciler, bu şekilden hareketle aşağıdaki yargılarda bulunuyor.

I. Kırmızı ışığın frekansı, mavi ışığın frekansından büyüktür.
II. Enerjisi metalin eşik enerjisinden daha büyük olan bir foton, metalden birden fazla sayıda elektron sökebilir.
III. Fotoelektrik etkisinin gerçekleşme koşulu, yüzeye gelen fotonların taşıdığı toplam enerji miktarının yüzeyin bağlanma enerjisinden büyük olmasıdır.
IV. Şekil III'te morötesi ışık kullanılırsa fotoelektrik olayı gerçekleşir.
V. Şekil II'deki kaynağın ışık şiddeti, Şekil I'deki kaynağın ışık şiddetinden küçüktür.

Buna göre yukarıdaki ifadelerden hangileri doğrudur? Açıklayınız. (Şekillerde özdeş yüzeyler kullanılmıştır.)

Fotoelektrik olayına etki eden değişkenleri daha iyi gözlemleyebilmek ve yorumlayabilmek amacıyla simülasyonda verilen adımları uygulayınız.



SİMÜLASYON 1

Süre	20 dk.
Simülasyonun Adı	Fotoelektrik Olayı
Simülasyonun Amacı	Fotoelektrik olayına etki eden değişkenleri gözlemleyerek yorumlayabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız ve uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra “Simülasyonun Değerlendirmesi” bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Hedef metal ve ışığın dalga boyu değerini sabit tutarak ışık şiddeti değerini yavaşça artırınız. Bu sırada devrede oluşan akım değerinin değişimini gözlemleyiniz.
2. Hedef metal ve ışık şiddeti değerini sabit tutarak ışığın dalga boyunu yavaşça değiştiriniz. Bu sırada devrede oluşan akım değerinin değişimini gözlemleyiniz.
3. Işığın dalga boyunu ve ışık şiddetini sabit tutarak hedef metali değiştiriniz. Bu sırada devrede akım oluşup oluşmadığını göz önünde bulundurarak metallerin bağlanma enerjileri ile ilgili çıkarımlarda bulununuz.
4. Seçenekler kısmından "Fotonları Göster" kutusunu işaretleyiniz. Daha sonra ışık şiddetini değiştirerek foton sayısındaki değişimi gözlemleyiniz.

Simülasyonun Değerlendirmesi

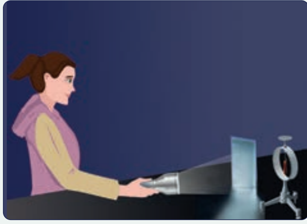
1. Kullanılan ışığın dalga boyu ile devre akımı arasında nasıl bir ilişki olduğunu açıklayınız.

2. Işık şiddetinin artması ya da azalmasının devre akımına etkisini açıklayınız.

3. Simülasyonda kullandığınız sodyum, çinko, bakır, platin, kalsiyum ve magnezyum metallerinin bağlanma enerjilerini büyükten küçüğe doğru sıralayınız.

4. Işık şiddeti ile foton sayısı arasında nasıl bir ilişki gözlemlediniz? Açıklayınız.

SORU 2



Fotoelektrik olayını gözlemlemek isteyen Öykü, şekilde görüldüğü gibi negatif yüklü bir elektroskobun topuzuna bağlı bir metal levha üzerine ışık düşürmesine rağmen elektroskobun yapraklarında herhangi bir değişim olmadığını görüyor.

Elektroskobun yapraklarının kapanmasını isteyen Öykü;

I. elektroskobun topuzuna farklı cins bir metal bağlama,

II. feneri metal levhaya yaklaştırma,

III. yüksek frekanslı ışık yayan bir ışık kaynağı tercih etme,

IV. ışık şiddetini artırma

işlemlerinden hangilerini yapabilir?

ÇÖZÜM

Öykü, elektroskobun yapraklarında bir değişim gözlemlediğine göre fotoelektrik olayı gerçekleşmemiştir.

I. Metalin değiştirilmesi sonucunda eşik enerjisi değişeceğinden yüzeyden elektron kopma ihtimali olabilir. Bu ifade doğrudur.

II. Feneri metal levhaya yaklaştırmanın, fotonun enerjisine bir etkisi olmayacağından elektroskobun yaprak açıklığı değişmeyecektir. Bu ifade yanlıştır.

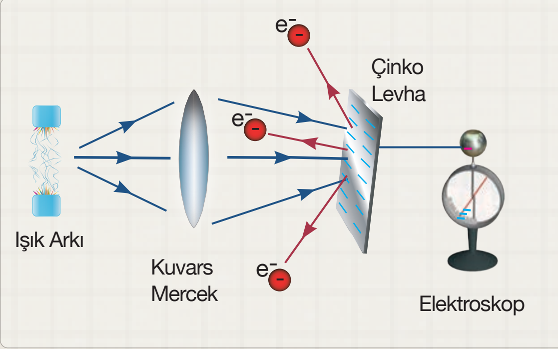
III. Frekans ile enerji doğru orantılı olduğundan daha yüksek frekanslı ışık yayan bir ışık kaynağı kullanılarak elektron sökülebilir. Bu ifade doğrudur.

IV. Işık şiddetini artırmak, foton sayısını artırmak anlamına gelir. Ancak fotonların enerjisi artmadığı için elektroskobun yaprak açıklığı değişmeyecektir. Bu ifade yanlıştır.

Doğru cevap I ve III'tür.

UYGULAMA » 5

İki elektrot arasındaki gaz ortamdan geçen akımın oluşturduğu parlak ışıklı bölgeye ışık arkı denir. Bir fizik deneyinde ışık arkından çıkan morötesi ışınlar, şekilde verilen kuvars mercekten geçirildikten sonra negatif yüklü bir elektroskobun topuzuna bağlanmış olan çinko levhanın üzerine düşürülüyor ve elektroskobun yapraklarının kapandığı gözlemleniyor.



Metal	Eşik Enerjisi (eV)
Na	2,46
Al	4,08
Pb	4,14
Zn	4,31
Fe	4,50
Cu	4,70
Ag	4,73
Pt	6,35

Buna göre

a) Elektroskobun yapraklarının kapanmasının nedeni nedir? Açıklayınız.

b) Deneyde sıradan cam mercek yerine kuvars mercek kullanılmasının sebebi ne olabilir?

c) Deneyde ışık arkı yerine beyaz ışık kaynağı kullanılırsa ne olur?

ç) Deneyde 2480 Å dalga boylu ışınlar kullanılsaydı tabloda eşik enerjileri verilen metallerden hangilerinin elektroskoba bağlanması durumunda elektron sökülebilirdi?
($h \cdot c = 12400$ eV · Å)

d) Deneyde 8,28 eV enerjili bir foton 4,14 eV eşik enerjili kurşun (Pb) levhaya düşürülseydi levhadan kaç adet elektron sökülürdü? Açıklayınız.

e) Deneyde kullanılan ışınların dalga boyu 1550 Å, çinko (Zn) levhanın eşik enerjisi 4,31 eV olduğuna göre fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi kaç eV'tur? ($h \cdot c = 12400$ eV · Å)

5.3.3. Fotoelektronların Maksimum Kinetik Enerjisinin Işığın Frekansına Bağlı Değişimi

Yüzeyden elektron koparabilecek minimum enerjili fotonun frekansına **eşik frekansı** (f_0), bu frekansa karşılık gelen dalga boyuna ise **eşik dalga boyu** (λ_0) denir. Eşik frekansı ve eşik dalga boyu, yüzeyin cinsine bağlıdır.

h Planck sabiti, f yüzeye düşürülen fotonun frekansı olmak üzere Einstein'ın fotoelektrik denklemi, frekansa bağlı olarak

$$E = E_0 + E_K$$

$$h \cdot f = h \cdot f_0 + \frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2$$

şeklinde ifade edilebilir.

Denklemde görüldüğü üzere

- $f < f_0$ ise yüzeyden elektron koparılamaz. Fotoelektrik olayı gerçekleşmez.
- $f = f_0$ ise yüzeyden elektron koparılır. Ancak fotoelektronların kinetik enerjisi sıfır olur.
- $f > f_0$ ise yüzeyden elektron koparılır. Fotonun kalan enerjisi fotoelektrona aktarılır.

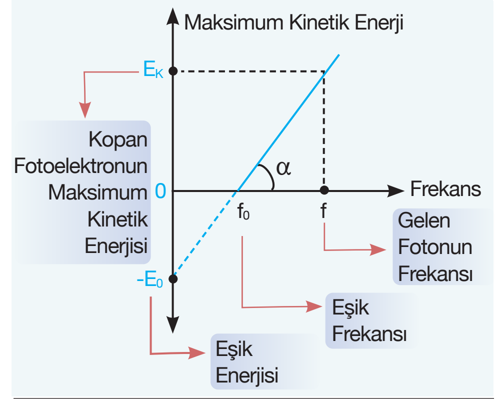
Fotoelektrik olayında yüzeyden kopan elektronların enerjisinin beklenenin aksine ışığın şiddetine değil, frekansına ya da dalga boyuna bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Gelen fotonun enerjisi, yüzeyin eşik enerjisinden küçükse ışığın şiddetinden bağımsız olarak foton, yüzeyden asla elektron koparamaz.

Tüm bu veriler ışığında fotoelektronların maksimum kinetik enerjisinin, ışığın frekansına bağlı değişim grafiği Şekil 5.10'da ifade edildiği gibidir.

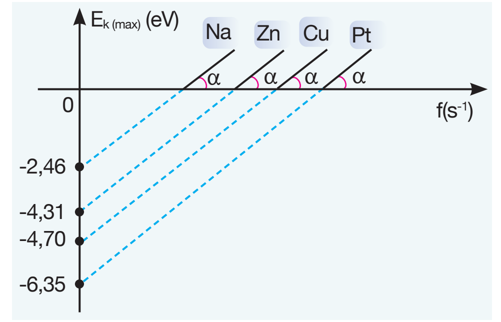
Şekil 5.10'daki grafiğin eğimi hesaplanacak olursa

$$\tan\alpha = \frac{E_K}{f - f_0} = \frac{E_0}{f_0} = h$$

Planck sabitine ulaşılır. Bu nedenle bu grafik, hangi metal için çizilirse çizilsin, grafiklerin eğimi birbirine eşit olur (Grafik 5.4).



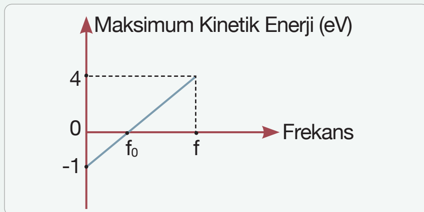
Şekil 5.10: Fotoelektrik olayının şematik gösterimi



***Grafik 5.4:** Farklı metallerden koparılan elektronların maksimum kinetik enerjilerinin gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiği*

SORU 3

Bir fotoelektrik deneyinde metal yüzeyden koparılan elektronların maksimum kinetik enerjilerinin, gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiği şekilde verilmiştir.



Buna göre

I. f_0/f oranı 1/4'tür.
II. Kullanılan metalin eşik enerjisi 1 eV'tur.
III. f frekanslı fotonların enerjisi 5 eV'tur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

I. Grafikte oluşan iki üçgen için de eğim hesaplandığında f_0/f oranı 1/5 bulunur. Bu ifade yanlıştır.

II. Kullanılan metalin eşik enerjisi 1 eV'tur. Bu ifade doğrudur.

III. Eşik enerjisi ile fotoelektronların kinetik enerjisinin toplamı, f frekanslı fotonun enerjisini verir.

$E = E_0 + E_K$
$E = 1 + 4$
$E = 5$ eV
Bu ifade doğrudur.

Cevap II ve III'tür.

UYGULAMA » 6

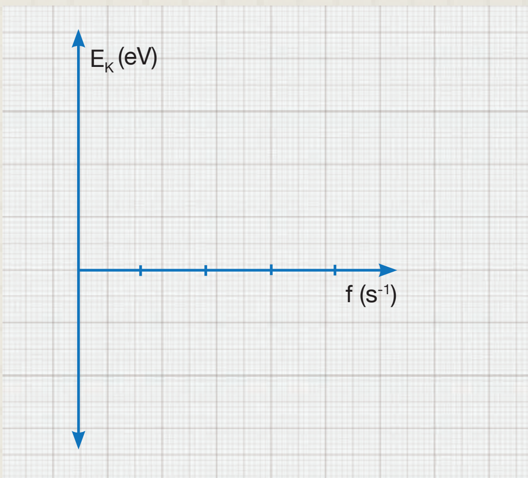
Bakır, altın, toryum ve kadmiyum elementlerine ait eşik enerjisi ve eşik frekansı değerleri tabloda verilmiştir.

Metal	Eşik Enerjisi (eV)	Eşik Frekansı (s^{-1})
Çinko (Zn)	4,3	?
Bakır (Cu)	4,7	1,13 x 10^{15}
Altın (Au)	5,1	1,23 x 10^{15}
Toryum (Th)	3,4	0,82 x 10^{15}
Kadmiyum (Cd)	4,1	0,99 x 10^{15}

Buna göre

a) Çinko metaline ait eşik frekansı değerini hesaplayınız.
(1 eV $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ J; h $= 6,62 \cdot 10^{-34}$ J · s alınız.)

b) Tablodaki verilerden yararlanarak en az iki farklı metalden koparılan elektronların maksimum kinetik enerjisinin, gelen fotonun frekansına bağlı değişim grafiğini çiziniz.



c) Farklı metaller kullanarak çizmiş olduğunuz kinetik enerji-frekans grafiğinin eğimlerini karşılaştırarak grafiği yorumlayınız.

ç) Tabloda verilen metallerin eşik dalga boyu değerlerini karşılaştırınız.

d) 3100 Å dalga boylu bir fotonun tablodaki metallerin üzerine gönderilmesi durumunda hangi metallerden elektron sökülebilir?
(h · c $=$ 12400 eV · Å)

5.3.4. Fotoelektronların Sahip Olduğu Maksimum Kinetik Enerji, Durdurma Gerilimi ve Metalin Eşik Enerjisi Arasındaki İlişki

Işık enerjisini elektrik enerjisine çeviren düzeneklere **fotosel** denir. Fotoseller, havası alınmış bir cam tüp içerisine konmuş iki metal levhadan meydana gelir (Şekil 5.11). Üzerine ışık düşürülen metal levhaya **katot**, katottan koparılan elektronların ulaştığı levhaya ise **anot** denir.

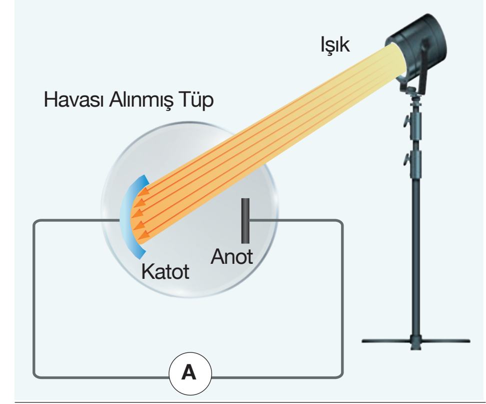
Katodun yüzeyine ışık düşürüldüğünde fotonların enerjisi, yüzeyin eşik enerjisinden küçükse fotonlar yüzeyden elektron sökemez ve devrede akım oluşmaz.

Üreteçsiz bir devrede katodun yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi, yüzeyin eşik enerjisine eşitse yüzeyden elektron sökülür ancak elektronlara kinetik enerji aktarılamadığı için elektronlar anoda ulaşamaz.

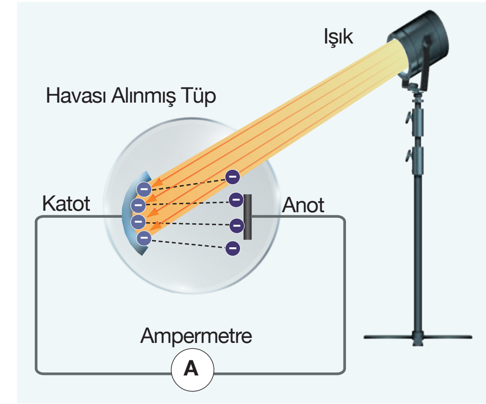
Katodun yüzeyinden koparılan elektronların birim zamanda anodun yüzeyine ulaşma sayısı fotoelektrik akımının şiddetini belirler. Katodun yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi, yüzeyin eşik enerjisinden büyükse katodun yüzeyi fotonu soğurur ve yüzeyden koparılan fotoelektronlara kinetik enerji aktarılır. Bu elektronlardan bir kısmı, anodun yüzeyine ulaşır ve devrede bir akım (i_0) oluşmasına neden olur (Şekil 5.12). Üreteç bağlanmamış fotosel devrede oluşan akımı (i_0) artırmak için

- katodun yüzeyine düşürülen ışığın şiddetini (foton sayısı) artırma,
- katodun yüzeyine düşürülen fotonların enerjisini artırma,
- katodun yüzeyi için eşik enerjisi düşük metal kullanma,
- levhaların yüzey alanını artırma,
- levhalar arası mesafeyi azaltma,
- noktasal ışık kaynağını katodun yüzeyine yaklaştırma

işlemlerinden bir ya da birkaçı yapılabilir.



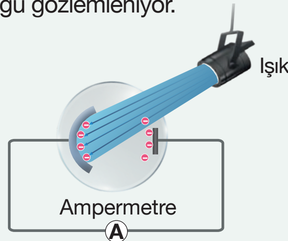
***Şekil 5.11:** Fotoselin şematik gösterimi*



***Şekil 5.12:** Fotosel devrede oluşan i_0 akımının şematik gösterimi*

SORU 4

Şekildeki fotosel, mavi ışıkla aydınlatıldığında devrede akım oluştuğu gözlemleniyor.



Buna göre ampermetrede okunan değeri artırabilbilmek için

I. mavi ışık kaynağı yerine kırmızı ışık kaynağı kullanmak,
II. anot levhasının yüzey alanını artırmak,
III. kaynağın ışık şiddetini artırmak

işlemlerinden hangileri yapılabilir?

ÇÖZÜM

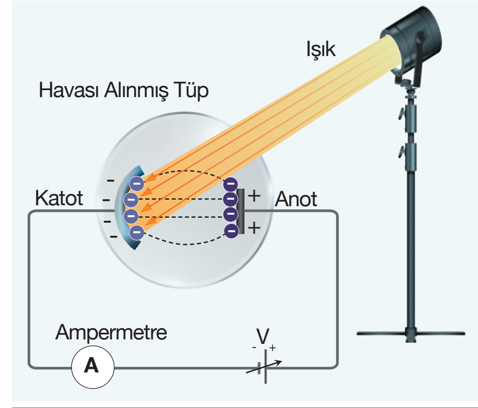
I. Kırmızı ışığın enerjisi mavi ışığın enerjisinden düşük olduğu için bu işlemin yapılması, devreden geçen akımın değerini artırmaz. Bu ifade yanlıştır.

II. Anot levhasının yüzey alanını artırmak, elektronların anodun yüzeyine çarpma ihtimalini artırır. Dolayısıyla bu işlemin yapılması, akım şiddetini artırabilir. Bu ifade doğrudur.

III. Kaynağın ışık şiddetinin artırılması, katodun yüzeyine düşen foton sayısını artırır. Bundan dolayı anot levhasına çarpan elektron sayısı da artabilir. Bu ifade doğrudur.
Doğru cevap II ve III'tür.

Negatif kutbu katot, pozitif kutbu anot levhasına gelecek şekilde devreye ayarlanabilir bir üreteç bağlandığında (Şekil 5.13) bu iki levha arasında bir elektrik alanı oluşur. Gerilim belli bir değere ulaştığında katot levhasından kopan elektronların tamamı, elektrik alanının etkisiyle anot levhasına ulaşır. Bu durumda devrede oluşan sabit akıma **maksimum akım** denir.

Akımı maksimum yapan gerilim değerine **doyma gerilimi** denir. Katottan sökülen elektronların tamamı anoda ulaştığı için doyma gerilimi değerine erişildikten sonra gerilim değerinin artırılması, maksimum akım şiddetini değiştirmez (Grafik 5.5).



Şekil 5.13: Üreteç bağlı bir fotoselin şematik gösterimi

Maksimum akım şiddetini artırmak için

- katodun yüzeyine düşürülen ışığın şiddetini (foton sayısı) artırma,
- katot levhasının yüzey alanını artırma,
- noktasal ışık kaynağını katodun yüzeyine yaklaştırma

işlemlerinden bir ya da birkaçı yapılabilir.

Sökülen her elektron anoda ulaşacağından

- katodun yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi,
- anot levhasının yüzey alanı,
- katot ve anot levhaları arasındaki uzaklık,
- metalin eşik enerjisi

maksimum akım (i_m) değerini etkilemez.

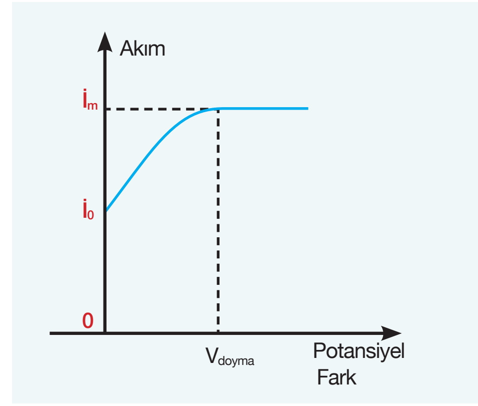
e elektronun yükü, V üretecin potansiyel farkı olmak üzere anot ve katot levhaları arasındaki elektriksel kuvvet, elektronlara

$$W = E = e \cdot V$$

kadar enerji kazandırır. Bu durumda Einstein'ın fotoelektrik denklemi,

$$E_{foton} + e \cdot V = E_0 + E_K$$

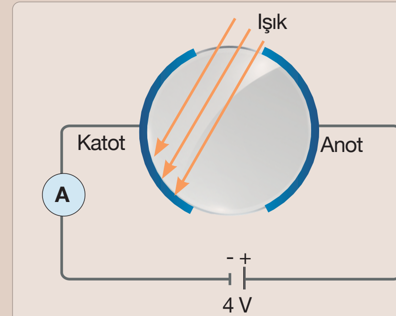
şeklinde ifade edilir.



Grafik 5.5: Fotoselde akımın potansiyel farka göre değişim grafiği

UYGULAMA » 7

Katodunda 4,1 eV eşik enerjili alüminyum metal kullanılan bir fotosele 4 V'luk bir üreteç, şekildeki gibi bağlanmıştır.
Buna göre fotoselin katoduna 1 550 Å dalga boylu morötesi ışık düşürüldüğünde sökülen elektronların maksimum kinetik enerjisi kaç eV olur? (h · c = 12 400 eV · Å)



Ayarlanabilir üretecin pozitif kutbu fotoselin katoduna, negatif kutbu anoduna bağlandığında (Şekil 5.14) fotoelektronlar, hareket yönlerine zıt yönlü bir elektriksel kuvvetin etkisinde kalır. Ayarlanabilir üretecin gerilimi artırıldıkça elektriksel kuvvetin değeri de artar ve anoda ulaşan elektron sayısı azalarak sıfıra iner. Fotoelektrik akımının sıfır olduğu yani hiçbir elektronun anoda ulaşamadığı andaki gerilim değerine **durdurma gerilimi** (kesme potansiyeli) denir.

Hiçbir elektronun karşıya ulaşamadığı ve akımın sıfır olduğu durum için Einstein'ın fotoelektrik denklemi

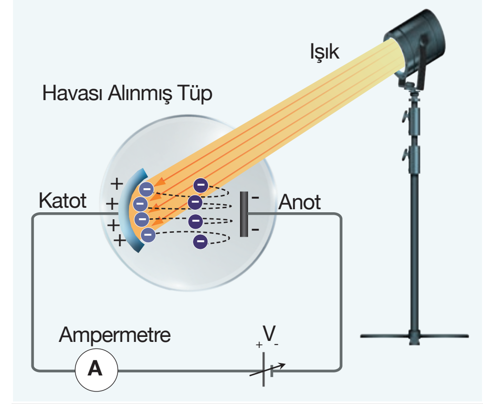
$$E_{foton} - eV = E_0$$

şeklinde ifade edilebilir.

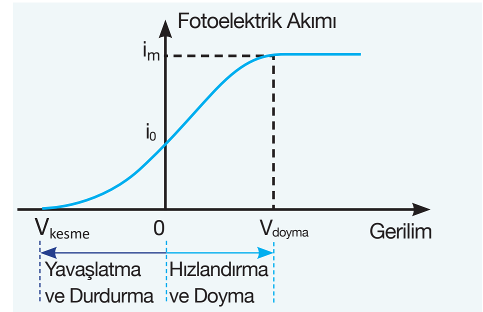
- Katot levhasına düşen fotonların enerjisinin artması,
- fotoselde düşük eşik enerjili metal kullanılması

durumlarında durdurma gerilimi (kesme potansiyeli) artar.

Fotoelektrik devrelerinde akımın potansiyel farka göre değişim grafiği Grafik 5.6'da verilmiştir.

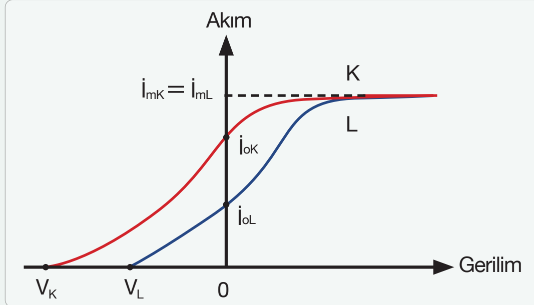


Şekil 5.14: *Üretecin ters bağlandığı bir fotoselin şematik gösterimi*



Grafik 5.6: *Fotoselde oluşan akımın yavaşlatıcı ve hızlandırıcı gerilime bağlı değişim grafiği*

SORU 5



Aynı ortamda bulunan özdeş fotosellerin katot yüzeyleri tek renkli K ve L ışınları ile ayrı ayrı aydınlatıldığında devrede oluşan akımın gerilime göre değişim grafiği şekildeki gibi olmaktadır.

Buna göre K ve L ışınlarının

a) enerjilerini,

b) frekanslarını,

c) dalga boylarını,

ç) hız büyüklüklerini,

d) ışık şiddetlerini

karşılaştırınız.

ÇÖZÜM

a) Bir fotoseldeki kesme potansiyeli, fotoelektronların enerjisine bağlıdır. Fotoseller özdeş ise kesme potansiyelinin yüksek olması, fotonların enerjisinin de yüksek olduğu anlamına gelir. Bu yüzden K fotonlarının enerjisi, L fotonlarının enerjisinden daha yüksektir.
$E_K > E_L$

b) Bir fotonun enerjisi ile frekansı doğru orantılı olduğundan K fotonlarının frekansı, L fotonlarının frekansından daha yüksektir.
$f_K > f_L$

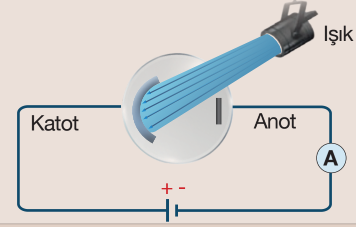
c) Bir fotonun enerjisi ile dalga boyu ters orantılı olduğundan L fotonlarının dalga boyu, K fotonlarının dalga boyundan daha fazladır.
$\lambda_L > \lambda_K$

ç) Aynı ortamda yayılan fotonların hız büyüklükleri eşittir. Bu yüzden K fotonu ile L fotonu, eşit büyüklükte hızlarla ilerler.
$\vartheta_K = \vartheta_L$

d) Devrede oluşan maksimum akım, ışık şiddetine bağlıdır. Her iki kaynağın oluşturduğu maksimum akım eşit olduğundan K ve L kaynaklarının ışık şiddetleri eşittir.
$I_K = I_L$

UYGULAMA » 8

Şekildeki fotoselde katoda dalga boyu 1240 Å olan morötesi ışınlar düşürülüyor.
Katodun yapıldığı metalin eşik dalga boyu 6200 Å olduğuna göre kesme potansiyeli kaç volttur? (h · c = 12400 eV · Å)

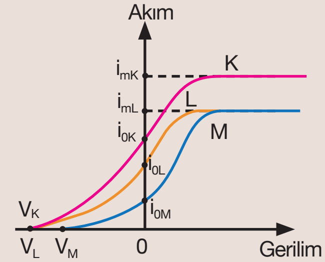


UYGULAMA » 9

Özdeş fotosellerin katot yüzeyleri tek renkli K, L ve M ışınları ile aydınlatıldığında devrede oluşan akımın gerilime göre değişim grafiği şekildeki gibi olmaktadır.

Bu grafiğe göre K, L ve M ışınlarının

a) şiddetlerini,
b) dalga boylarını,
c) frekanslarını
karşılaştırınız.



5.3.5. Fotoelektrik Olayının Günlük Hayattaki Uygulamaları

Fizik bilimi, sadece evrendeki düzenin ve doğanın işleyişinin anlaşılmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda teknolojinin gelişimine önemli katkılar sağlayarak günlük yaşamı kolaylaştıran birçok aracın geliştirilmesine önayak olur. Bunların en somut örneklerinden biri fotosellerdir.

Fotoseller, üzerine düşen ışığı soğurarak elektrik akımına çeviren ve kullanıldıkları devrelerde anahtar görevi gören optoelektronik aygıtlardır. Musluklarda hijyenin sağlanması (Görsel 5.7), sokak lambalarının gün ışığına göre parlaklık ayarının yapılması, matbaacılıkta renklerin ayrılması ve kâğıt kesme giyotinlerinde ellerin bıçak kısmına girmesi hâlinde sistemin durdurulması, asansörleri durduran sistemin kumanda edilmesi, bacalarda duman yoğunluğunun ölçülmesi gibi birçok alanda farklı amaçlar için fotosellerden yararlanılır.


Görsel 5.7: Fotoselli musluk

Fotoseller kullanılarak hırsız alarmları, açılır kapanır kapı sistemleri, otomatik kâğıt havlu ya da el kurutma makineleri, para sayma makineleri, fotoğraf makinelerinin pozometreleri, güneş ışığına göre açılıp kapanan perdeler, yangın ve duman dedektörleri gibi birçok teknolojik araç geliştirilmiştir.

Fotoelektrik olayının birçok olumlu etkisinin yanında olumsuz etkileri de mevcuttur. Özellikle Güneş'ten gelen ve ozon tabakasındaki incelme nedeniyle dünyaya ulaşan morötesi ışınlar, yüksek enerjileri nedeni ile gözden elektron sökebilmekte ve bunun sonucunda görme bozuklukları yaşanabilmektedir. Bu ışınların, göze verebileceği olası zararların önüne geçmek için güneş gözlüğü kullanılmalıdır.

Güneş gözlüklerinin camları, morötesi ışınların önemli bir kısmını yansıtarak bu ışınların göze ulaşmasını engeller (Görsel 5.8). Bu yüzden sahte güneş gözlüklerinin kullanımından uzak durmak gerekir. Sahte güneş gözlükleri, morötesi ışınları yansıtamaz ve karanlıkta büyüyen göz bebeklerine ulaşan morötesi ışınlar, fotoelektrik etkisi nedeniyle göze daha fazla zarar verir.



Görsel 5.8: *Gözlük camından yansıyan yüksek enerjili güneş ışınları*

SORU 6



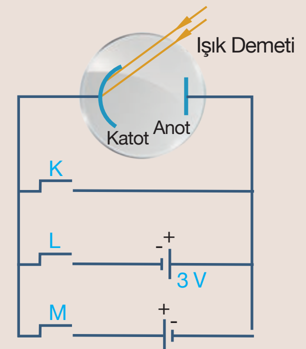
Musluklarda hijyenin sağlanmasında fotoelektrik olayı nasıl bir rol oynamaktadır? Verilen görseli göz önüne alarak açıklayınız.

ÇÖZÜM

Fotoselli muslukta kızılötesi ışık yayan bir LED ve bir algılayıcı bulunur. Elinizi musluğun altına tuttuğunuzda LED'den yayılan kızılötesi ışınların bir kısmı elinize çarpar ve elinizden yansıyarak algılayıcıya ulaşır. Kızılötesi ışınların algılayıcıya ulaşması sonucunda devrede fotoelektrik akımı oluşur. Bu akım valfe iletilir. Valfin içinde yer alan bobin, elektrik akımının etkisiyle manyetik alan oluşturur. Elektromıknatıs özelliği kazanan valf, ucundaki hareketli bölümü aşağı çekerek musluktaki su yolunun açılmasını ve suyun akmasını sağlar. Elinizi musluğun altından çektiğinizde algılayıcıya ışın yansımaz ve su akışı kesilir.

UYGULAMA » 10

Katodunda 4,7 eV eşik enerjili bakır metalinin kullanıldığı bir fotosele şekilde verildiği gibi λ dalga boylu bir ışık demeti düşürülüyor.



Buna göre

a) Yalnız K anahtarı kapalıyken fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi 3,3 eV olduğuna göre fotonların λ dalga boyu kaç Å'dur?
(h · c = 12400 eV · Å)

b) Yalnız L anahtarı kapalıyken anoda ulaşan fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi kaç eV olur?

c) Yalnız M anahtarı kapalıyken fotoelektrik akımını sıfırlamak için kaç voltluk bir pil kullanılmalıdır?

UYGULAMA » 11

Öykü, bir güvenlik şirketi aracılığıyla evine şekillerde şematik gösterimi verilen bir alarm sistemi kurduruyor. Bir gün alarmın çaldığını duyan Öykü, evine hırsız girdiğini fark ederek polisi arıyor.

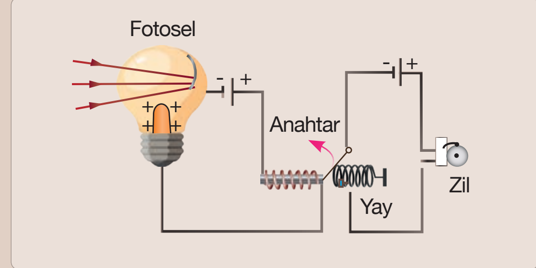
Verilen görseller incelendiğinde alarm sisteminin çalışma ilkesi ile ilgili

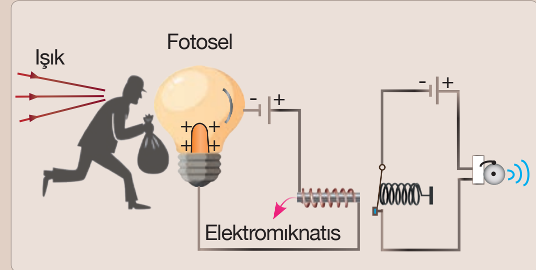
I. Fotoselin katoduna yüksek enerjili ışın düşürülüp fotoelektrik akımı oluşturulmaktadır.

II. Eve giren hırsız, ışık kaynağı ile fotosel arasına girerek fotoelektrik akımının oluşmasını engellemiş ve zilin çalmasına sebep olmuştur.

III. Eve giren hırsızdan yayılan kızılötesi ışınlar, fotosele düşerek metal yüzeyden elektron sökmüş ve fotoelektrik akımı oluşturarak alarmın çalmasına sebep olmuştur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?





UYGULAMA » 12

Özdeş fotosellere düşürülen ve ışık şiddetleri ile dalga boyları tabloda verilen tek renkli K, L ve M ışınlarının fotosellerin metal yüzeylerinden elektron söktükleri bilinmektedir.

Buna göre

a) K, L ve M ışınlarının t sürede bu fotosellerin katotlarından söktüğü fotoelektron sayılarının n_K, n_L, n_M arasındaki ilişki nedir?

b) K, L ve M ışınlarının fotosellerin katodundan söktüğü fotoelektronların maksimum kinetik enerjileri E_K, E_L, E_M arasındaki ilişki nedir?

Işık	Işık Şiddeti	Işığın Dalga Boyu
K	I	λ
L	2I	3λ
M	I	2λ

5.4. COMPTON SAÇILMASI VE DE BROGLİE DALGA BOYU



Anahtar Kavramlar

- Compton Olayı
- de Broglie Dalga Boyu



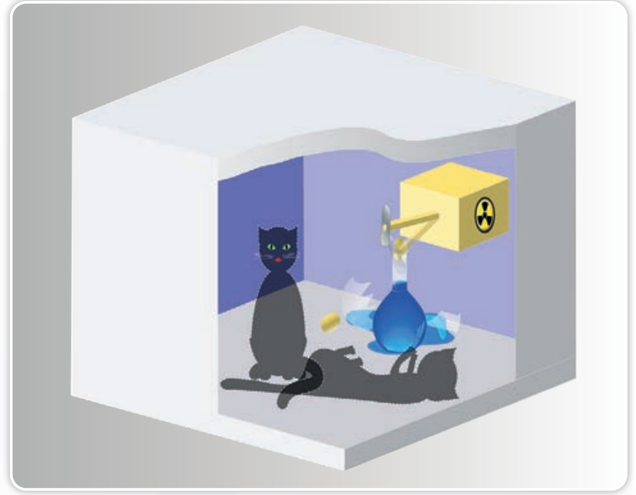
NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde Compton olayında foton-elektron etkileşimi açıklanarak Compton olayının fotoelektrik olayıyla benzer yönleri vurgulanacak, ışığın tanecik doğası hakkında çıkarım yapılacak ve ışığın tanecik, dalga ve hem tanecik hem dalga doğası ile açıklanan olaylar belirtilerek madde ve dalga arasındaki ilişki ortaya konacaktır.



SCHRÖDİNGER'İN KEDİSİ

1925 senesinde henüz bir fizik öğrencisi olan Wolfgang Pauli (Wolfkank Pauli), bir arkadaşına yazdığı mektupta "Şu sıralar fizik yine karman çorman… Neresinden bakarsan benim için çok karmaşık!" şeklinde dert yanıyordu. Kafası karışık olan sadece Pauli değildi. Yeni ortaya konan kuantum kuramının neden bahsettiğini kimse anlayamıyordu. Deneysel çalışmalar, enerjinin bölünüp görünmez paketler (kuantalar) hâlinde yayıldığını işaret ediyor ama bunun sebebini kimse söyleyemiyordu. Elektron, dalga gibi davranırken nasıl olup da gözlemlenince tanecik gibi hareket ediyordu? Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger'in ortaya koyduğu denkleme ve yarattığı hayalî bir kahramana kadar bu kargaşa sürüp gitti.



Schrödinger, bir kediyi başrole alarak hayalî bir deney düzeneği tasarladı. Bu hayalî düzenekte kapalı çelik bir kutunun içinde bir kediyle birlikte küçük bir parça radyoaktif malzeme, asit şişesi ve sayaca bağlı çekiç bulunuyordu. Herhangi bir anda radyoaktif maddenin bozunarak çekici serbest bırakacak şekilde yerleştirilen sayacı tetiklemesi ve bunun sonucunda asit şişesinin kırılması olasılığı mevcuttu. Bu şişenin kırılması, asit buharının kutuya yayılmasına ve kedinin ölümüne neden olacaktı. Ayrıca radyoaktif atomun kararsız doğası, kediyi ölü veya diri konumuna sokacaktı. Bu durumda kutu açılana kadar kesin bir gerçeklikten söz etmek mümkün değildi. Kutunun açılarak kedinin gözlemlenmesi ise onu diri ya da ölü olmaya zorlayacaktı. Böylece gözlem, kedinin temel bir özelliğini değiştirmiş olacaktı. Schrödinger'in kedisinin hikâyesi, kuantum kuramının tuhaflığını ortaya koymuştur.



HAZIRLIK SORULARI

1. Tasarladığı düşünce deneyiyle kuantum fiziğini daha somut ve anlaşılır hâle getiren bilim insanı kimdir?
2. Sonradan çok önemli bir bilim insanı olacak olan Pauli'nin öğrencilik yıllarında fizik dünyasından dert yanmasının sebebi nedir?
3. Siz de bu deneyi baz alarak kuantum fiziğini makro evrene uyarlayan bir düşünce deneyi tasarlayınız.

5.4.1. Compton Olayı

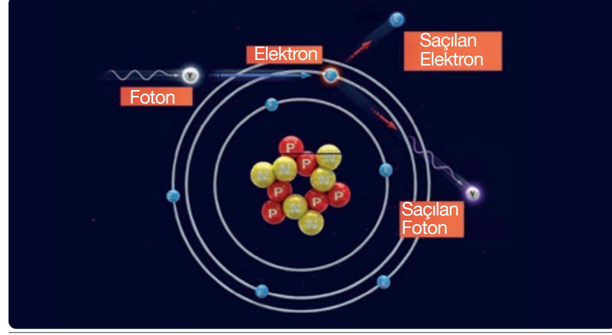
Einstein, 1919 yılında E enerjili bir fotonun bir parçacık gibi davrandığını ve tek bir yönde ilerleyerek

$$P = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot f}{c}$$

kadar momentum taşıdığını ileri sürmüştür. Einstein'ın bu düşüncesinin deneysel ispatı 1923 yılında fizikçi Arthur Holly Compton [Artur Hali Kamptın (Görsel 5.9)] tarafından yapılmıştır.



Görsel 5.9: Arthur Holly Compton



Görsel 5.10: Compton saçılması

1913 yılından beri X ışınları ile çalışan Compton, 1920'lerin başında bir dizi deney sonucunda X ışınları ile elektronlar arasındaki etkileşimin ancak X ışınlarının parçacık olarak ele alınması ile açıklanabileceği sonucuna ulaşmıştır. Compton, yaptığı deneylerde bir X ışını fotonunun bir elektrona çarpması sonucunda elektronun enerji ve momentum kazanıp belli bir açıyla saçıldığını tespit etmiştir (Görsel 5.10). Fotonun da enerji ve momentum kaybederek farklı bir açıyla saçıldığını saptamıştır. Compton saçılması, hareket hâlindeki bir bilardo topunun durgun hâldeki başka bilardo topuna çarparak enerji ve momentum aktarımı yapması şeklinde modellenebilir. Compton, bu çalışmasından dolayı 1927 yılı Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır.

Şekil 5.15'te görülen yüksek enerjili bir X ışını fotonu; atoma zayıf bir şekilde bağlı, neredeyse serbest bir elektronla esnek bir çarpışma yaparak enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır ve θ açısıyla saçılır. Fotonun çarpmasıyla beraber serbest elektron, fotonun geliş doğrultusuyla α açısı yapacak şekilde harekete geçer. Compton saçılmasına göre

- Gelen foton, saçılan foton ve elektron aynı düzlemdedir.
- Fotoelektrik olayının tersine foton soğrulmaz.
- Çarpışmadan sonra foton, ışık hızıyla ilerlemeye devam eder.
- Çarpışma sırasında fotonun kaybettiği enerji, elektrona kinetik enerji olarak aktarıldığından toplam enerji korunur.

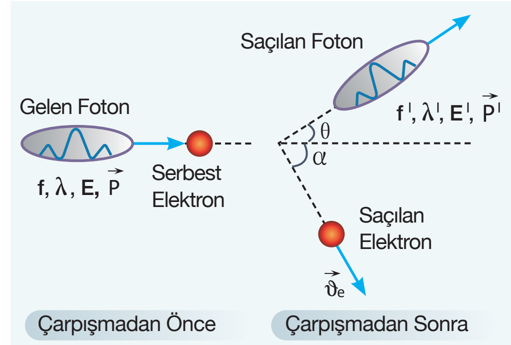
  $E = E^{I} + E_K$
- Gelen fotonun enerjisi, saçılan fotonun enerjisinden büyük olduğundan çarpışma sırasında fotonun frekansı azalır.

  $h \cdot f = h \cdot f^{I} + E_K$
- Fotonun λ dalga boyu, f frekansı ile ters orantılı olduğundan saçılan fotonun dalga boyu, gelen fotonun dalga boyundan büyüktür.

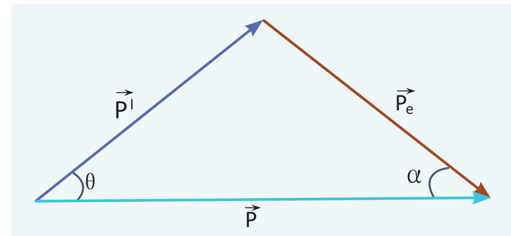
  $$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda^{I}} + E_K$$
- Momentumun korunumu yasası gereği gelen fotonun momentumu $\vec{P}$, saçılan fotonun momentumu $\vec{P^{I}}$ ile saçılan elektronun momentumunun $\vec{P_e}$ toplamına eşittir (Şekil 5.16).

  $$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$$

  $$\vec{P} = \vec{P^{I}} + \vec{P_e}$$



Şekil 5.15: Compton olayında foton ve elektron etkileşimi



Şekil 5.16: Compton olayında momentumun korunumu



SİMÜLASYON 2

Süre 20 dk.

Simülasyonun Adı	Çarpışma Laboratuvarı
Simülasyonun Amacı	Model üzerinden Compton saçılmasını açıklayabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız ve uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra “Simülasyonun Değerlendirmesi” bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Açılan simülasyon ekranından “2. Düzenek” bölümünü seçiniz.
2. Ekranın sağ üst köşesinde yer alan kutucuklardan "Kütle Merkezi" dışında kalanları işaretleyiniz.
3. Çarpışmanın Compton saçılması gibi tam esnek olması için "Elastik" bölümünün %100 olmasına özen gösteriniz.
4. İkinci topun hızını durgun elektronu anımsatması açısından sıfır olacak şekilde ayarlayınız.
5. Hızını belli bir değere ayarladıktan sonra birinci topu, ikinci topa doğru merkezî olmayan çarpışma yapacak şekilde gönderiniz.
6. Başlatma tuşuna basarak topların çarpışmasını sağlayınız.
7. Bu çarpışmaları farklı kütle, hız ve açı değerleri kullanarak tekrar ediniz.
8. Topların çarpışma öncesi ve sonrası kinetik enerji değerlerini kontrol ederek karşılaştırınız.
9. Ekranın sağ alt köşesinde yer alan "Momentum Diyagramı" kısmından momentumun korunup korunmadığını kontrol ediniz.

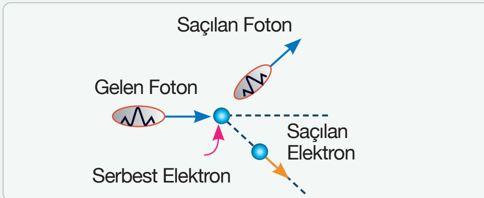
Simülasyonun Değerlendirmesi

1. Çarpışmada momentumun korunup korunmadığını açıklayınız.

2. Çarpışmada enerjinin korunup korunmadığını belirtiniz.

SORU 1

Bir X ışını fotonu, serbest bir elektronla etkileşerek şekildeki gibi saçılıyor.



Buna göre

I. X ışını fotonu, elektrona çarparak hız kaybeder ve daha düşük hızla yoluna devam eder.

II. Elektronla etkileşiminden sonra gelen fotonun dalga boyu küçülür.

III. Foton-elektron etkileşiminden dolayı elektron kinetik enerji kazanır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

I. Çarpışmadan sonra fotonun hızının büyüklüğü değişmez. Foton, ışık hızıyla yoluna devam eder. Bu ifade yanlıştır.

II. Gelen fotonun çarpışmadan sonra enerjisi azalırken dalga boyu artar. Bu ifade yanlıştır.

III. Foton-elektron etkileşiminde foton, elektrona enerji aktarır. Bu ifade doğrudur.

Doğru cevap yalnız III’tür.

UYGULAMA » 1

Bir foton, serbest bir elektronla etkileşerek şekildeki gibi saçılıyor.

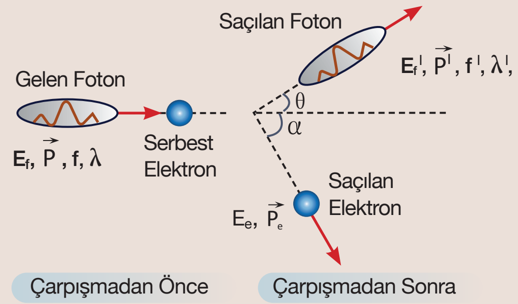
Gelen fotonun enerjisi E, momentumunun büyüklüğü P, frekansı f ve dalga boyu λ olduğuna göre saçılan fotonla ilgili

I. Momentumunun büyüklüğü P/2'dir.

II. Frekansı 2f'dir.

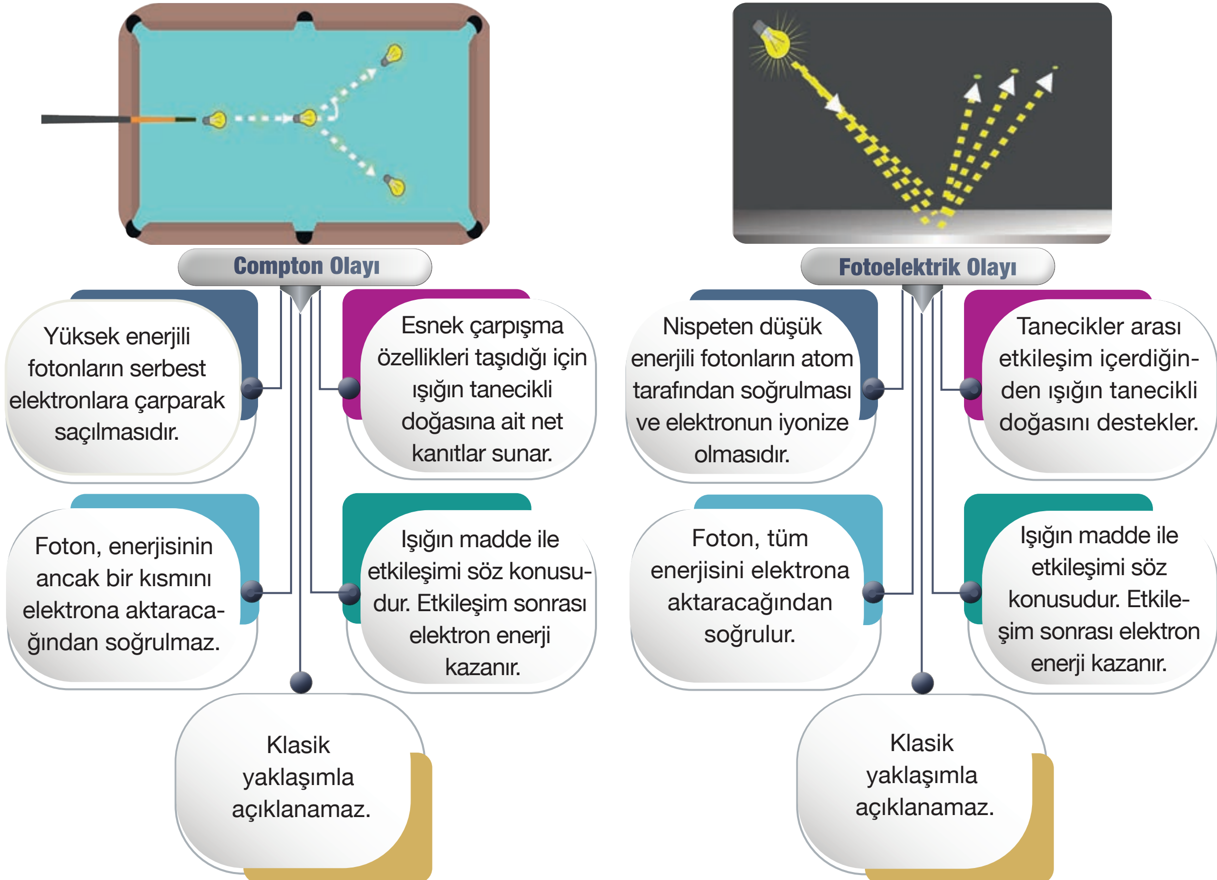
III. Dalga boyu 2λ'dır.

ifadelerinden hangileri doğru olabilir?



5.4.2. Compton ve Fotoelektrik Olaylarının Karşılaştırılması

Compton ve fotoelektrik olayları, ışığın dalga doğasının benimsendiği bir dönemde ortaya konan ve birçok bilim insanının karşı koymasına rağmen ışığın tanecikli doğasını ön plana çıkaran iki olaydır. Fotonların hem enerji hem de momentum taşıyan parçacıklar olduğunu gözler önüne seren bu iki olayın benzer ve farklı yönleri vardır.



UYGULAMA » 2

Klasik fizik ve klasik dalga mekaniğiyle açıklanmaya çalışılan fotoelektrik olayı ile ilgili

I. Yüzeyden elektron sökülmesi için belli bir zamana ihtiyaç duyulur.

II. Eşik enerjisinden küçük enerjiye sahip fotonların katoda gönderilmesi durumunda ışık şiddeti artırılırsa fotoelektrik olayı gerçekleşir.

III. Fotoelektrik olayı gerçekleşirken ışık şiddeti artırılırsa kesme gerilimi de artar.

ifadelerinden hangileri deneysel verilerle uyuşmamaktadır? Açıklayınız.

UYGULAMA » 3

Compton olayı ile ilgili

I. Işığın dalga modelini destekler.

II. Enerjinin ve momentumun korunumu ilkeleri göz önüne alındığında ışığın tanecikli yapıda olduğunun güçlü bir kanıtıdır.

III. Serbest elektron, elektromanyetik dalgayı (ışığı) soğurarak aynı frekanslı bir başka dalga yayınlar.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

5.4.3. Işığın İkili Doğası

Işık, bir yandan enerji ve momentuma sahip tanecikler (fotonlar) şeklinde hareket ederken diğer taraftan elektromanyetik dalgalar gibi kırınım ve girişim olaylarını sergiler. Peki, hangi model doğrudur? Işık bir dalga mıdır? Yoksa tanecik midir? Bu soruların cevapları gözlemlenmekte olan olayda saklıdır. Bazı olaylar, foton kavramı temeline dayalı olarak ışığın tanecikli doğasıyla, bazı olaylar ise ışığın dalga doğasıyla açıklanır. Sonuç olarak her iki model de göz önüne alınmalı ve ışığın doğasının tekli modelde, klasik fizik yasaları ile açıklanamayacağı kabul edilmelidir. Einstein'ın 1924 yılında dediği gibi "… bu yüzden iki ışık kuramı var, ikisinden de vazgeçilemez. … aralarında hiçbir mantıksal bağ yok." Yoğun çalışmalara sahne olan birkaç yılın ardından bu iki kuram arasında kuantum mekaniğinin gelişimi ile bağlantı kurulmaya başlanmıştır.

Radyo dalgaları gibi uzun dalga boylu, düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar ve bunların rol aldığı olaylardaki ışık, tanecik özelliği göstermez. Ancak daha yüksek frekanslara yani kısa dalga boylarına doğru gidildikçe, örneğin görünür bölgede, ışığın her iki yapısını da gözlemlemek mümkündür. Bu bölgede bir ışık demeti hem girişim yapabilir hem de yüzeyden elektron sökebilir. Daha yüksek frekanslarda ve bu frekanslara karşılık gelen kısa dalga boylarında ise fotonun enerjisi ve momentumu artar. Işığın tanecik doğası dalga doğasından daha açık olarak ortaya çıkar. Örneğin X ışını ya da γ ışını kullanılarak kırınım ve girişim olaylarının gözlemlenmesi oldukça güçtür.

UYGULAMA » 4

Aşağıdaki görsellerde ışığın rol aldığı bazı fiziksel olaylar tasvir edilmiştir.

Görsellerde verilen ışık olaylarını ve bu olayların desteklediği karakteristik yapıyı tabloda uygun yerleri doldurarak belirleyiniz.

Görsel	Tanecik Modeli	Dalga Modeli	Görsel	Tanecik Modeli	Dalga Modeli
....			....		
Işık / Elektron / Metalik Yüzey			....		
....			....		
....			....		

5.4.4. Madde ve Dalga Arasındaki İlişki

Işığın ikili doğaya sahip olması fikri ilk etapta karmaşık gelebilir. Suya atılan bir taş parçası tanecik, bu taş parçasının suda meydana getirdiği titreşimler dalga olarak nitelendirilebilir. Fakat fotonların ve elektronların dünyasında bu ayrım keskin çizgilerle yapılamaz. Örneğin tanecik olarak düşünülen bir elektronun belli koşullar altında dalga özelliği sergilemesi son derece şaşırtıcıdır.

Louis Victor de Broglie (Lui Viktor Dö Broli), 1923 yılında hazırladığı doktora tezinde ışığın ikili doğasından yola çıkarak tüm maddelerin tanecik özellikleri olduğu kadar dalga özelliklerine de sahip olabileceğini ileri sürmüştür. Diğer bir deyişle her elektrona uzayda yol gösteren bir dalganın eşlik ettiğini söylemiştir. O zamana kadar hiçbir deneysel doğrulaması olmayan bu yaklaşım, oldukça radikal bir düşünce olarak göze çarpmaktadır.

Bir fotonun momentumunun büyüklüğü, enerjisine bağlı olarak

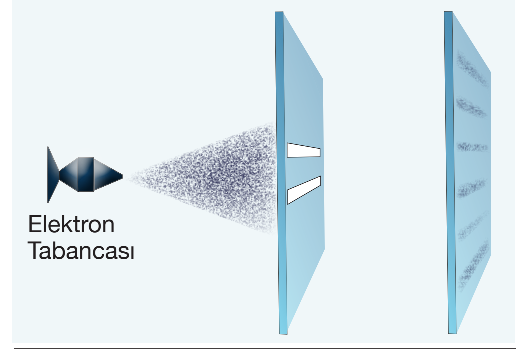
$$P = \frac{E}{c}$$

şeklinde ifade edilebilir. Fotonun enerjisini veren

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

denklemi bu bağıntıda yerine yazılırsa

$$P = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{\frac{h \cdot c}{\lambda}}{c} \Rightarrow P = \frac{h}{\lambda}$$



Şekil 5.17: Elektron kırınımı

ifadesine ulaşılır. Bu eşitlikten yararlanılarak bir fotonun dalga boyu ile momentumu belirlenebilir.

de Broglie'ye göre P momentumlu maddesel bir tanecik, dalga özelliklerine ve dolayısıyla bir dalga boyuna da sahip olmalıdır. Kütlesi m, hızının büyüklüğü ϑ olan bir taneciğin momentum büyüklüğü $P = m \cdot \vartheta$ olduğundan taneciğin de Broglie dalga boyu

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{m \cdot \vartheta}$$

bağıntısıyla bulunur. de Broglie'ye göre bu dalgalar, mekanik veya elektromanyetik dalga değildir. Madde dalgası olarak adlandırılan farklı bir dalga türüdür.

Her türlü parçacığın hem dalga hem de tanecik özellikleri gösterdiğini öngören de Broglie hipotezi, ortaya koyulduğu ilk yıllarda bilim dünyası tarafından tamamen spekülasyon olarak görülmüştür. Eğer elektron gibi parçacıklar, dalga özelliklerine sahipse doğru koşullar altında kırınım ve girişim olaylarını da gerçekleştirmelidir. Bu düşünceden yola çıkan Clinton Davisson (Klintın Devissın) ve Lester Germer (Lestır Germır), yaptıkları deneyle (Şekil 5.17) elektronun dalga boyunu ölçmeyi başarmıştır. Bu iki bilim insanının elektronlarla yaptıkları kırınım ve girişim deneyleri, de Broglie tarafından önerilen madde dalgalarının ilk deneysel doğrulaması olmuştur.

ARAŞTIRMA

Elektronların dalga özellikleri göz önüne alınarak geliştirilen ve diğer bileşik mikroskoplara göre çok daha yüksek ayırma gücüne sahip olan elektron mikroskoplarının çalışma prensiplerini ve kullanım alanlarını araştırınız. Araştırma sonuçlarını ve elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüleri kullanarak bir sunum hazırlayınız. Hazırladığınız sunumu arkadaşlarınızla paylaşınız.



Aşağıdaki cümlelerden doğru olanların karşısına "D", yanlış olanların karşısına "Y" yazınız.

1. Michelson-Morley deneyi, uzayın esir adı verilen madde ile dolu olduğunu ispatlamayı başarmıştır. ☐

2. Michelson ve Morley, deney sonuçlarının beklentilerinin dışında olduğunu görmüş ve deneyi sabır ve kararlılık içinde defalarca tekrarlamıştır. ☐

3. Bir elektron, ivmelendirici gerilimin büyüklüğü ne olursa olsun hiçbir zaman ışık hızına ulaşamaz. ☐

4. Duran ya da düzgün doğrusal hareket yapan sistemlere eylemsiz referans sistemi denir. ☐

5. Fizik yasaları tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır. ☐

6. Işık hızına yakın hızlarda hareket eden cisimlerde uzunluk büzülmesi sadece cismin hareket doğrultusuna dik olan doğrultuda gözlenir. ☐

7. Siyah cisimler, görünür bölgede mavi ışıma yaparken cismin sıcaklığı arttıkça sırasıyla yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı ışıma yapmaya başlar. ☐

8. Işık demetini meydana getiren küçük enerji paketlerine foton adı verilir. ☐

9. Fotonlar, büyük patlamadan sonra Higgs alanı ile etkileşime girerek kütle kazanmıştır. ☐

10. Bir metalin yüzeyine düşürülen ışığın, yüzeyden elektron koparması olayına Compton olayı denir. ☐

11. Hertz, tasarladığı düzenekle fotoelektrik etkisini havada ilk gözlemleyen bilim insanı olmuştur. ☐

12. Işık şiddetini artırmak, ışık kaynağından salınan foton sayısını artırmak demektir. ☐

13. Işık enerjisini elektrik enerjisine çeviren vakumlu tüplere fotosel denir. ☐

14. Bir metal yüzeye düşürülen mavi ışık elektron söküyorsa aynı yüzeye gönderilen morötesi ışık da elektron söker. ☐

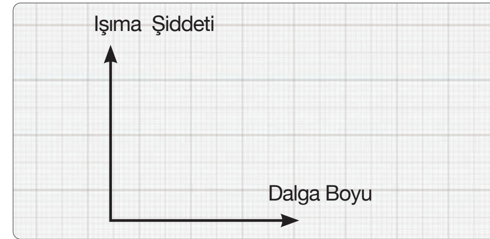
15. Fotoelektrik akımını maksimum yapan gerilim değerine kesme gerilimi denir. ☐

Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

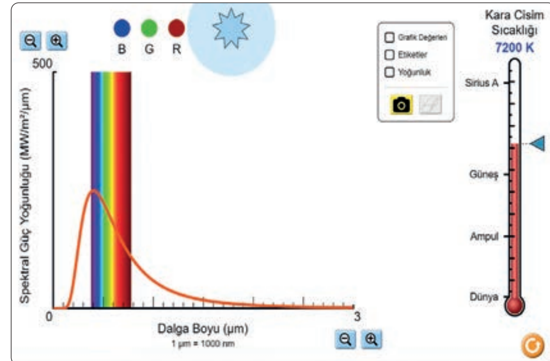
16. Şekildeki metal vazo, alttan ısıtılmakta ve farklı sıcaklık değerlerinde farklı renklerde ışımalar yapmaktadır.



Yukarıda verilen metal vazonun T_1, T_2, T_3 sıcaklık değerlerine ait ışıma şiddetinin ışıma dalga boyuna bağlı değişim grafiğini çiziniz.



17. Siyah cisim ışımasının konu edildiği bir fizik dersinde öğretmen, öğrencilerinin konuya hâkimiyetini artırmak için şekilde verilen simülasyonu kullanıyor.



Buna göre

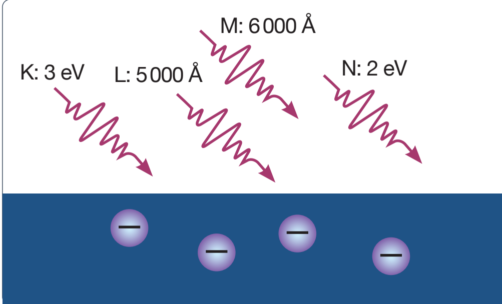
a) Siyah cismin sıcaklığı ekranın sağ tarafındaki bölümden artırılarak 9000 K değerine getirilirse tepe dalga boyu nasıl değişir? Cismin tepe dalga boyu hangi bölgeye kayar?

b) Siyah cismin sıcaklığı ekranın sağ tarafındaki bölümden artırılarak 9 000 K değerine getirilirse ışıma şiddeti nasıl değişir?

c) Siyah cismin sıcaklığı ekranın sağ tarafındaki bölümden azaltılarak 6 500 K değerine getirilirse ışıma şiddeti nasıl değişir?

ç) Siyah cismin sıcaklığı ekranın sağ tarafındaki bölümden azaltılarak 6500 K değerine getirilirse tepe dalga boyu nasıl değişir?

18. Eşik enerjisi 2,46 eV olan bir sodyum levha üzerine şekilde gösterilen K, L, M ve N fotonları gönderiliyor. (h · c = 12400 eV · Å)



Buna göre

a) K, L, M ve N fotonlarından hangileri metal yüzeyden elektron sökebilir?

b) Metal yüzeyden sökülen fotoelektronların maksimum kinetik enerjisini hesaplayınız.

19. Nurcan, arkadaşının doğum gününde kendisine hediye ettiği güneş gözlüğünü belirli bir süre kullandıktan sonra gözünde kanlanma ve ağrı şikâyeti ile göz doktoruna başvuruyor. Göz doktorunun muayenehanesine gittiğinde önce elini yüzünü yıkamak istiyor ve lavaboya gidiyor. Lavabonun kapısına yaklaştığında kapının açıldığını ve lavabo kapısının kolu olmadığını görüyor. Elini lavabo musluğuna yaklaştırdığında suyun otomatik olarak aktığını, uzaklaştırdığında ise su akışının kesildiğini fark ediyor. Otomatik kâğıt havlu makinesinden aldığı havlu ile elini kurulayıp lavaboyu terk ettikten sonra ışıklar sönüyor. Nurcan, muayene olduktan sonra yine otomatik açılır kapanır kapıyı kullanarak muayenehaneden çıkıp evine doğru yol alıyor.

Verilen metinden yararlanarak fotoelektrik olayının günlük hayattaki olumlu ve olumsuz etkileri ile ilgili çıkarımlarınızı yazınız.

20. Eşik dalga boyu 6200 Å olan fotosele 3100 Å dalga boylu fotonlar düşürülüyor.

a) Fotonun enerjisi kaç eV'tur?
(h · c = 12400 eV · Å)

b) Metalin eşik enerjisi kaç eV'tur?

c) Sökülen fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi kaç eV'tur?

ç) Fotoelektrik akımı sıfırlamak için uygulanması gereken kesme potansiyeli kaç volt olmalıdır?

Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

21. **Michelson-Morley deneyi sonucunda**
I. Işık hızına yakın hızlarda hareket eden cisimlerde uzunluk büzülmesi gerçekleşir mi?
II. Işık hızı, kaynağın ve gözlemcinin hızına bağlı olarak değişiklik gösterir mi?
III. Işığın yayılması için bir ortama gerek var mıdır?
sorularından hangileri cevap bulmuştur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

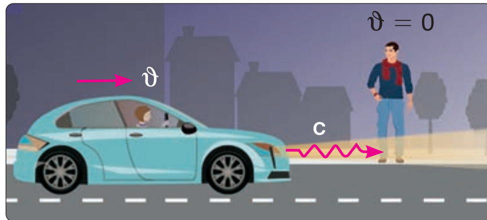
22. **Michelson-Morley deneyinin farklı bilim insanları tarafından farklı koşullarda birçok kez tekrarlanmış olmasının sebebi olarak**
I. deneyde kullanılan optik aletler çok hassas olduğu için olası ölçüm hatalarının engellenmesi,
II. deney düzeneğinin hatalı olduğunun anlaşılması,
III. deneyin, beklentilerin tam tersine sonuçlar ortaya koyması
ifadelerinden hangileri gösterilebilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I ve III

23. **Aşağıdaki deneylerden hangisi "elektromanyetik dalgaların yayılması için ortama ihtiyaç duyulduğu düşüncesinden yola çıkılarak esirin varlığını ve olası etkilerini tespit etmek" amacıyla yapılmıştır?**

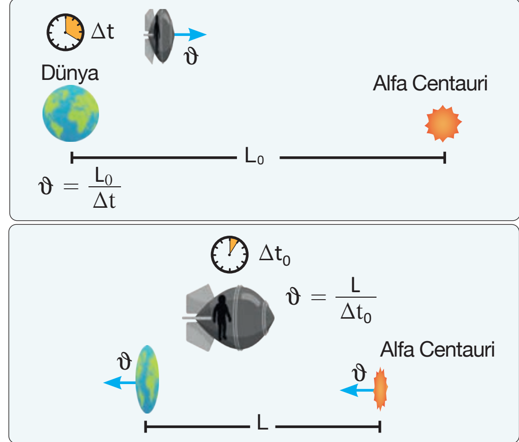
A) Milikan yağ damlası deneyi
B) Thomson e/m tayini deneyi
C) Rutherford saçılma deneyi
D) Michelson-Morley deneyi
E) Franck-Hertz deneyi

24. Özgü, bir akşam aracıyla sabit ϑ hızında ilerlerken Aras, görseldeki gibi yol kenarında hareketsiz bir şekilde Özgü'yü beklemektedir.
Aracın farından c hızıyla yayılan ışığın hızını Özgü $\vartheta_ö$, Aras ise ϑ_A olarak ölçtüğüne göre c, $\vartheta_ö$, ϑ_A arasındaki ilişki nedir?



A) $c = \vartheta_ö = \vartheta_A$ B) $c > \vartheta_ö > \vartheta_A$
C) $\vartheta_ö > \vartheta_A > c$ D) $\vartheta_A = c > \vartheta_ö$
E) $\vartheta_ö > c = \vartheta_A$

25. Bir fizik öğretmeni, göreli zaman ve göreli uzunluk kavramlarını çeşitli görseller kullanarak öğrencilerine anlatmak istiyor. Bu amaçla Dünya'dan Alfa Centauri yıldızına doğru ışık hızına yakın bir hızla hareket eden uzay mekiği görseli kullanıyor. İlk şeklin Dünya'dan bakan bir gözlemci çerçevesinden, ikinci şeklin ise uzay mekiğindeki astronotun gözlem çerçevesinden ölçekli olarak çizildiğini belirterek öğrencilerden konuyla ilgili çıkarımlar yapmalarını istiyor.



Buna göre
I. Astronot, zaman genişlemesi nedeni ile daha kısa bir yolculuk süresi ölçer.
II. Uzunluk büzülmesi, yalnızca hareket doğrultusundadır.
III. Dünya'dan bakan bir gözlemci, uzay mekiğinin hareket hâlindeki boyunu durgun hâlindeki boyundan kısa ölçer.
çıkarımlarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I, II ve III

26. Fiziğin en popüler denklemlerinden birisi, kütle-enerji eş değerliğini ifade eden $E = m \cdot c^2$ denklemidir. Bu denkleme göre kütle, enerjinin bir başka formudur ve uygun koşullarda kütle ve enerji birbirine dönüşebilir.
Buna göre
I. foton soğuran ve ısınan bir cismin kütlesinin artması,
II. elektron ve karşıt parçacığı olan pozitronun karşılaşarak birbirini yok etmesi ve gama fotonu yayması,
III. durgun bir cismi hızlandırmak amacıyla verilen enerjinin, cismin kütlesini artırması sebebiyle cismin hiçbir zaman ışık hızına ulaşamaması
olaylarından hangileri kütle-enerji eş değerliğine örnek gösterilebilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) I ve III

27. Klasik fizik yasalarına göre siyah cisim ışımasında ışığın frekansı arttıkça enerjisinin artması ve yüksek frekanslı salınımların enerjisinin artarak morötesi bölgeyi geçmesi gerekir. Bu öngörü, uzun dalga boylarında deneysel verilerle uyumluyken kısa dalga boylarında uyumlu değildir. Kısa dalga boylarında morötesi bölgeyi geçen salınımların enerjisi sıfıra düşmektedir. Bu olay, Max Planck tarafından kendi adıyla anılan iki varsayımla açıklanmıştır.

Buna göre

I. Bir cisim üzerinde yer alan moleküller, belli frekans değerlerinde titreşir ve sürekli olmayan kesikli enerji değerlerine sahiptir.
II. Moleküller, kuanta adı verilen belli büyüklükteki kümeler hâlinde enerji yayar ya da soğurur.
III. Işık hızının ölçülen değeri, gözlemcinin ya da ışık kaynağının hareketinden bağımsızdır.

ifadelerinden hangileri bu varsayımlardan biridir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III

28. Boşlukta yayılan farklı renkli iki foton için

I. Hız büyüklükleri eşittir.
II. Enerjileri eşittir.
III. Her iki foton da düzgün elektrik alanına sokularak yavaşlatılabilir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) II ve III E) I, II ve III

29. E enerjili fotonlar, K metaline düşürüldüğünde sökülen elektronların maksimum kinetik enerjisi 7 eV, L metali üzerine düşürüldüğünde 12 eV, M metali üzerine düşürüldüğünde ise 9 eV oluyor.

Buna göre metallerin eşik enerjileri aşağıdakilerden hangisinde doğru verilmiş olabilir?

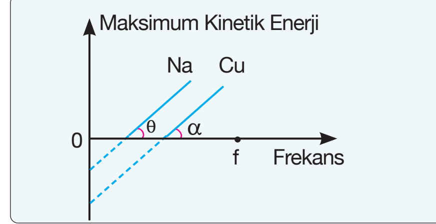
	E_K (eV)	E_L (eV)	E_M (eV)
A)	7	12	9
B)	8	3	6
C)	10	4	5
D)	15	5	7
E)	2	4	6

30. Eşik enerjisi 4 eV olan bir metal yüzey üzerine bir tane 8 eV, iki tane 12 eV, bir tane 4 eV ve son olarak dört tane 3 eV enerjili foton gönderiliyor.

Buna göre metal yüzeyden en fazla kaç tane fotoelektron sökülebilir?

A) 1 B) 3 C) 4 D) 5 E) 9

31. Sodyum ve bakır metallerine düşürülen fotonların frekansları ile metallerden koparılan fotoelektronların maksimum kinetik enerjileri arasındaki ilişki grafikte verilmiştir.



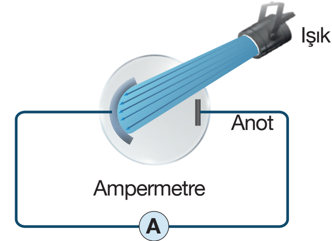
Buna göre

I. Sodyum metalinin eşik enerjisi, bakır metalinin eşik enerjisinden büyüktür.
II. Metallere f frekanslı ışık düşürüldüğünde sodyum metalinden koparılan fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi, bakır metalinden koparılan fotoelektronların maksimum kinetik enerjisinden büyüktür.
III. θ açısı, α açısından büyüktür.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

32. Fotosele şekildeki gibi bir ışık demeti düşürüldüğünde ampermetreden akım geçmediği saptanıyor.



Buna göre ampermetreden akım geçmesi için

I. katot levhasının yüzey alanını artırmak,
II. kaynağın ışık şiddetini artırmak,
III. ışığın frekansını artırmak

işlemlerinden hangileri tek başına yapılmalıdır?

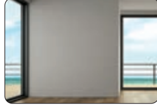
A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

33. Compton ve fotoelektrik olayları ile ilgili

I. Her iki olay da ışığın dalga modeliyle açıklanır.
II. Her iki olayda da elektronla etkileşen fotonlar soğrulur.
III. Compton olayında fotoelektrik olayına göre daha yüksek enerjili fotonlar kullanılır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve II E) II ve III

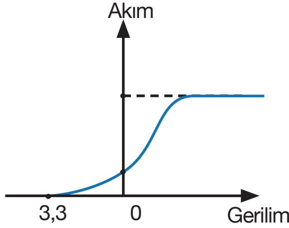
34.   

I. Görsel: 50 °F sıcaklığında su	II. Görsel: 300 K sıcaklığında duvar	III. Görsel: 70 °C sıcaklığında bitki çayı

Yukarıdaki görsellerde verilen cisimlerin maksimum şiddette yaptıkları ışımaların dalga boyu sırasıyla λ_1, λ_2 ve λ_3 olduğuna göre bunlar arasındaki ilişki nedir?

A) $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ B) $\lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$ C) $\lambda_2 > \lambda_1 > \lambda_3$
D) $\lambda_1 = \lambda_2 > \lambda_3$ E) $\lambda_1 > \lambda_2 = \lambda_3$

35. Bir fotoselin katoduna düşürülen 1550 Å dalga boylu morötesi ışınların oluşturduğu akımın potansiyel farka bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre fotoselin katodunda hangi metal kullanılmıştır? (h · c = 12400 eV · Å)

A) 2,46 eV eşik enerjili sodyum
B) 4,14 eV eşik enerjili kurşun
C) 4,50 eV eşik enerjili demir
D) 4,70 eV eşik enerjili bakır
E) 6,35 eV eşik enerjili platin

36. Fotoelektrik olayı kullanılarak günlük yaşamı kolaylaştıran birçok araç geliştirilmiştir.

I. Fotoğraf makinelerinin pozometreleri
II. Para sayma makineleri
III. Hırsız alarmları

Yukarıda verilenlerden hangileri bu araçlara örnek gösterilebilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

37. Eşit büyüklükte hızlarla hareket etmekte olan nötron, proton ve elektronun kütleleri arasında $m_n > m_p > m_e$ ilişkisi vardır.
Bu taneciklere eşlik eden dalga boyları λ_n, λ_p ve λ_e olduğuna göre dalga boyları arasındaki ilişki nedir?

A) $\lambda_n > \lambda_p > \lambda_e$ B) $\lambda_e > \lambda_p > \lambda_n$ C) $\lambda_n > \lambda_e > \lambda_p$
D) $\lambda_p > \lambda_n > \lambda_e$ E) $\lambda_e > \lambda_n > \lambda_p$

38. **Bir X ışını fotonu ile serbest elektronun etkileşiminde gözlemlenen Compton olayı ile ilgili**

I. Saçılan fotonun hızı, gelen fotonun hızından küçüktür.
II. Saçılan foton, saçılan elektrondan hızlıdır.
III. X ışını fotonu, çarpışma sırasında serbest elektron tarafından soğrulur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

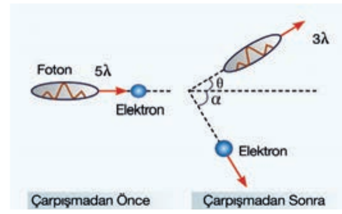
39. Doğada ışığın tanecik, dalga ve hem dalga hem de tanecik doğası ile açıklanabilen birçok olay gerçekleşmektedir.
Buna göre ışığın

I. birbiri içinden etkilenmeden geçebilmesi,
II. yansıması,
III. metal yüzeyden elektron sökmesi

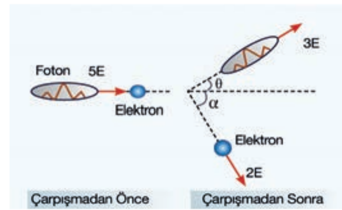
olaylarından hangileri ışığın hem tanecik hem de dalga doğası ile açıklanabilir?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

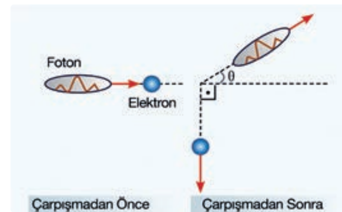
40. Bir araştırma laboratuvarında Compton saçılmasına ait üç adet deney yapılarak deney sonuçlarından elde edilen veriler görseller üzerinde gösteriliyor.



I. Deney



II. Deney



III. Deney

Buna göre hangi deneylerdeki verilerden en az biri hatalı ölçülmüştür?

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III
D) II ve III E) I, II ve III



Karekodda verilen bulmacaları çözünüz.

6. ÜNİTE

MODERN FİZİĞİN TEKNOLOJİDEKİ UYGULAMALARI

ÜNİTE BÖLÜMLERİ

6.1. GÖRÜNTÜLEME TEKNOLOJİLERİ

6.2. YARI İLETKEN TEKNOLOJİSİ

6.3. SÜPER İLETKENLER

6.4. NANOTEKNOLOJİ

6.5. LASER IŞINLARI



6. ünitenin sunumu için karekodu okutunuz.



6. üniteye ulaşmak için karekodu okutunuz.

6.1. GÖRÜNTÜLEME TEKNOLOJİLERİ



Anahtar Kavramlar

Görüntüleme Teknolojisi

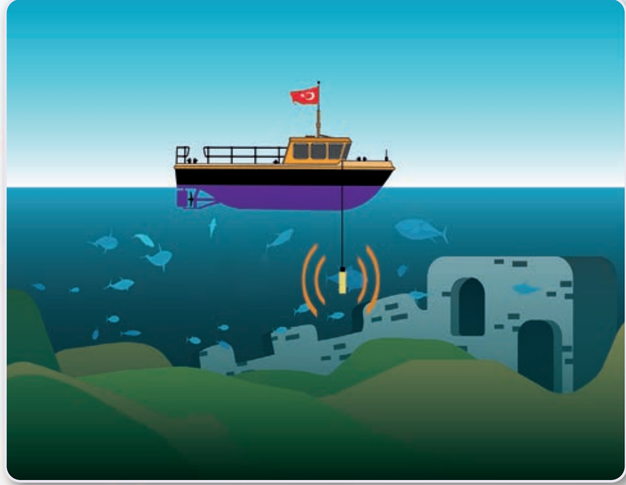


NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde görüntüleme cihazlarından röntgen, MR, PET, tomografi, ultrason, radar, sonar ve termal kameraların üretilmesinde fiziğin etkisi açıklanacak; görüntüleme cihazlarının çalışma ilkelerine değinilecek, LCD ve plazma teknolojilerinde fizik biliminin yeri üzerinde durulacaktır.



HİDROFON-SU ALTI MİKROFONU



Çoğu insan, su altının sessiz olduğunu düşünür fakat su altında yaşayan canlıların bazıları iletişim kurmak, av aramak vb. sebeplerle ses dalgalarını kullanır.

Birçok farklı disiplinle ilgilenen İtalyan mucit Leonardo da Vinci (Leonardo da Vinçi) "Geminizi durdurur, uzun bir borunun bir ucunu suya sokar ve diğer ucunu kulağınıza koyarsanız sizden çok uzaktaki gemileri duyarsınız." sözüyle gemilerin hareketinden dolayı suya yayılan titreşimlerin uzak mesafelerden duyulabildiğini ifade etmiştir. Bir tüp şeklindeki ilk hidrofonların suya konan kısmı, ince bir zarla kaplıydı ve diğer ucu, gözlemci kulağı olarak kullanılıyordu. Bir mikrofonun havadaki ses dalgalarını algılamasına benzer şekilde bir hidrofon da su altındaki ses dalgalarını algılar. Bu nedenle hidrofonlara su altı mikrofonları da denir. Günümüzde kullanılan hidrofonlar, su altı basıncındaki değişikliklere maruz kaldığında küçük bir elektrik akımı üreten piezoelektrik kristalleri ile çalışmaktadır.

Hidrofonlar, balıkların hareketini takip etmekten su altı volkanik faaliyetleri ve denizaltıların yerini belirlemeye kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır.



HAZIRLIK SORULARI

1. İlk hidrofon tasarımı nasıldır?
2. Hidrofonlar, ses dalgalarının hangi özelliği temel alınarak tasarlanmıştır?
3. Hidrofonlar, sizce metinde belirtilen faaliyet alanlarının dışında başka hangi amaçlarla kullanılabilir?

6.1.1. Görüntüleme Cihazları

Teknolojik ürünler, günlük hayatın vazgeçilmez parçalarıdır. Günlük hayatta kullanılan birçok teknolojinin temelinde fizik bilimi vardır. Fizik biliminde gerçekleşen yeni keşifler, farklı bilim alanlarında kullanılan teknolojilerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Farklı alanlarda ayrıntılı tanılama yapılmasını sağlayan cihazlara **görüntüleme cihazları** denir. Tıp, mühendislik, astronomi vb. bilim alanlarında görüntüleme cihazları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu cihazların sürekli gelişmesi ile insanoğlu farklı bilim dallarında daha fazla bilgiye ulaşabilmektedir. Görüntüleme cihazlarının gelişimi, özellikle sağlık alanında hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli rol oynamaktadır.



Görsel 6.1: *Akciğer röntgen filmini inceleyen doktorlar*

Röntgen

Günümüzde kullanılan görüntüleme teknolojilerinin temelini oluşturan ve özellikle sağlık alanında çok önemli bir yeri olan X ışınları, Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 1895 yılında keşfedilmiştir. X ışınları, elektromanyetik dalgalardan biridir. Wilhelm Conrad Röntgen, hızlandırılmış bir elektronun bir metale çarpıp ivmeli hareket yapması sonucunda X ışınları ürettiğini bulmuştur. Bu keşifle aynı yıl, günümüzde kullanılanlara göre çok basit sayılabilecek bir röntgen cihazı üretilmiştir. Röntgen cihazından gönderilen X ışınları, gönderildiği bölgenin kalınlık, yoğunluk, atomik yapı vb. özelliklerine göre farklı miktarlarda kırınıma uğrayarak röntgen filmi üzerinde bir görüntü meydana getirmektedir. Görsel 6.1'de akciğer röntgen filmini inceleyen doktorlar görülmektedir.



Görsel 6.2: *Röntgen cihazı*

Röntgen cihazları (Görsel 6.2), yüksek enerjili elektromanyetik dalga olan X ışınlarını kullandığından canlı dokular için zararlı olabilmektedir. Bu nedenle ancak doktor onayı ile röntgen çekimi yapılmalıdır.

MR (Manyetik Rezonans)

Güçlü manyetik alan üreten MR cihazları, canlıların organ ve dokularını görüntülemek için kullanılır. Cihazın ürettiği manyetik alan, organ ve dokularda bulunan su moleküllerinin içindeki protonları geçici olarak yönlendirir. Yönlendirilen protonlara daha sonra radyo dalgaları gönderilir. Radyo dalgalarının protonlardan yansıması sonucunda, bölgedeki proton yoğunluğuna bağlı olarak, bilgisayar tarafından su yoğunluğu tespit edilir ve dokunun görüntüsü oluşturulur. Görüntüyü inceleyen doktorlar, sağlıklı ve hastalıklı bölgeleri su yoğunluğuna bakarak tespit eder ve uygun tedavileri uygular. MR cihazları, düşük enerjili elektromanyetik dalga olan radyo dalgalarını kullandığından canlı doku hasarına neden olmamaktadır. Görsel 6.3'te bir kişinin MR cihazı kullanılarak elde edilmiş organ görüntüsünü inceleyen doktor görülmektedir.



Görsel 6.3: *MR cihazı kullanılarak elde edilen görüntüyü inceleyen doktor*

PET (Pozitron Emisyon Tomografisi)

Pozitron emisyon tomografisi [PET (Görsel 6.4)], doku ve organların metabolik veya biyokimyasal işlevini ortaya çıkarmaya yardımcı olan bir görüntüleme cihazıdır. PET cihazı ile tarama yapılırken hastaya damar içi radyoaktif madde enjekte edilir ve bu maddenin vücut içindeki hareketleri izlenir. Maruz kalınan radyasyon miktarı az olduğu için radyasyonun olumsuz etkileriyle karşılaşılma riski düşüktür.



Görsel 6.4: *Pozitron emisyon tomografi cihazı (PET)*

PET taraması ile MR taramalarında ortaya çıkmayan metabolik anormallikler görüntülenebilmektedir. PET görüntüleri, MR görüntüleri ile birleştirilerek birleşik görüntüleme yapılmakta ve daha detaylı bilgilere ulaşılmaktadır. PET taraması; kanser, kalp rahatsızlıkları ve beyin bozuklukları dâhil olmak üzere çeşitli hastalıkların belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Tomografi (BT)

Günümüzde tomografi cihazları, bilgisayar yazılımları ile birlikte çalışmaktadır. Bu nedenle bu cihazlar, bilgisayarlı tomografi [BT (Görsel 6.5)] olarak adlandırılmaktadır. Temel olarak bu cihazlarda, röntgen cihazlarında olduğu gibi, X ışınları kullanılmaktadır. Bilgisayarlı tomografi cihazında röntgen cihazından farklı olarak tek bir X ışını değil, farklı açılardan bir dizi X ışını kullanılır. Farklı açılardan birden fazla ışın kullanılarak bilgisayar yardımı ile daha detaylı bir görüntüleme yapılmaktadır. Bilgisayarlı tomografi, tıpta özellikle travmalar sonucunda oluşan iç yaralanmaları hızlı bir şekilde belirlemek için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra bilgisayarlı tomografi ile vücudun neredeyse tüm bölümleri görselleştirilebilmektedir. Bilgisayarlı tomografide kullanılan X ışınları, canlı dokular için zararlı olabilmektedir.



Görsel 6.5: *Bilgisayarlı tomografi cihazı*

UYGULAMA » 1

Röntgen ve tomografi cihazlarının benzer ve farklı yönlerini açıklayınız.

Ultrason

İnsan kulağı, 20 Hz ile 20 000 Hz arasındaki ses frekanslarını duyabilmektedir. 20 000 Hz üzerindeki seslere **ultrasonik sesler** denir. **Ultrason**, yumuşak dokuların görüntülerini üretmek için ultrasonik (yüksek frekanslı) ses dalgalarını kullanan bir görüntüleme yöntemidir. Elde edilen görüntüler, çeşitli hastalık ve anormalliklerin teşhis ve tedavisi için önemli bilgiler sağlayabilmektedir. Yüksek frekanslı seslerin vücuttaki farklı bölgelerden (kas, kemik, kan, yağ vb.) farklı hızlarda yankılanması sonucunda bilgisayar yardımı ile ultrason cihazında (Görsel 6.6) görüntü elde edilmektedir. Ses dalgaları kullanıldığı için ultrason cihazlarının sağlık açısından bilinen bir riski yoktur. Ultrason cihazları, hamilelik sırasında bebeğin sağlığını izlemek ve yumuşak dokuları incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Ultrason cihazının yaydığı ses dalgaları, havada diğer ortamlara göre daha yavaş hareket eder ve ses dalgalarının taşıdığı enerji diğer ortamlara göre daha hızlı dağılır. Bu nedenle içinde hava bulunan organların, örneğin akciğerin, görüntülenmesinde ultrason cihazları etkili değildir.



Görsel 6.6: *Ultrason cihazı*

MERAKLISINA BİLİM

1794'te İtalyan biyolog Lazzaro Spallanzani (Lazzaro Splantzani) yarasaların görmeden, sadece ses yansımasını kullanarak hareket edebildiklerini keşfetmiştir. Ses dalgalarının yansıma ilkesi kullanılarak nesnelerin konumlarının belirlenmesine ekolokasyon ismi verilmektedir.

Radar

Radar kelimesi [Radio Detection and Ranging (Redyo Deteksın end Rencing)], "radyo ile tespit etme ve mesafe belirleme" anlamına gelen İngilizce ifadenin baş harflerinden oluşmaktadır. Radar, elektromanyetik dalgaların yansıma özelliğini temel almaktadır. Radar tarafından yayınlanan radyo dalgaları veya mikrodalgalar, bir cisme çarpıp dönerek cismin konumu, hareket yönü ve hızı gibi niceliklerini belirlemektedir. Radarların farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Askerî ve sivil alanlarda kullanılabilen radarlar, hava radarları ve yer radarları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Özellikle meteoroloji radarları, hava durumunu takip etmekte önemli bir yere sahiptir. Radarlar, hava ve deniz trafiğini kontrol etmekte de kullanılmaktadır. Görsel 6.7'de polis tarafından kullanılan radar cihazı görülmektedir.



Görsel 6.7: *Polis tarafından kullanılan radar cihazı*

MERAKLISINA BİLİM

1886 yılında fizikçi Heinrich Hertz, elektromanyetik dalgaların çeşitli nesnelerden yansıtılabileceğini keşfetmiştir. Radar cihazlarının çalışma prensibinin arkasında bu keşif yer almaktadır.

ARAŞTIRMA

Radarların tarihî gelişimini araştırınız. Ulaştığınız verileri bir sunum hazırlayarak sınıf içinde arkadaşlarınızla paylaşınız.

Sonar

Sonar kelimesi [Sound Navigation and Ranging (Saund Nevigeyşin end Rencing)], "sesle yön ve mesafe tayini" anlamına gelen İngilizce ifadenin baş harflerinden oluşmaktadır. Sonar cihazlarında üretilen ses dalgalarının nesnelerden yansıması sonucunda cismin mesafesi hakkında bilgi edinilmektedir. Sonar cihazı, gidip geri dönen ses için süre ölçümü yaparak bu cisim ile sonar arasındaki mesafeyi tespit etmektedir. Geri dönen ses, günümüzde bilgisayar yardımı ile işlenerek görüntüye dönüştürülebilmektedir. Sonar cihazları (Görsel 6.8), özellikle deniz altının haritalanması, balıkçılıkta balık sürülerinin görüntülenmesi, denizaltılarda yön tayini gibi amaçlarla kullanılmaktadır.



Görsel 6.8: *Sonar cihazı*

UYGULAMA » 2

Sonar ve radarların çalışma prensiplerindeki ortak ve farklı yönleri açıklayınız.

Termal Kameralar

Sıcaklığı 0 kelvin üzerinde olan tüm nesneler, ısı imzası olarak da bilinen kızılötesi enerji yayar. Termal kameralar, nesnelerin kızılötesi enerjisini algılar. Termal kamera, bu kızılötesi verileri, ölçülen nesnenin yüzey sıcaklığını gösteren elektronik bir görüntüye dönüştürür. Termal kameralar, genellikle askerî ve sivil güvenlik alanlarında kullanılır. Görsel 6.9'da bir evin, yaydığı kızıl ötesi enerjiye bağlı olarak termal kamera ile oluşturulan görüntüsü görülmektedir.



Görsel 6.9: *Termal kamera*

UYGULAMA » 3

Görüntüleme cihazları ile ilgili bilgileri tablodaki boşluklara yazınız.

Görüntüleme Cihazı	Yapımında ve Kullanımında Temel Alınan Fizik Yasa ve İlkeleri	Kullanım Alanları	Avantaj ve Dezavantajları
Röntgen			
MR			
Bilgisayarlı Tomografi			
PET			
Ultrason			
Radar			
Sonar			
Termal Kamera			

SORU 1

Röntgen, MR, bilgisayarlı tomografi, PET, ultrason, sonar, termal kamera ve radar cihazlarının hangileri elektromanyetik dalga, hangileri mekanik dalga kullanır?

ÇÖZÜM

Röntgen ve bilgisayarlı tomografi X ışını, MR radyo dalgası, radar radyo veya mikrodalga, termal kamera kızılötesi ve PET gama ışınları olmak üzere elektromanyetik dalgaları kullanır.

Ultrason ve sonar, ses dalgaları olmak üzere mekanik dalgaları kullanır.

6.1.2. LCD ve Plazma Teknolojileri

LCD (Sıvı Kristal Ekran) Teknolojisi

LCD kelimesi [Liquid Crystal Display (Likü̈it Kristal Displey)] "sıvı kristal ekran" anlamına gelen İngilizce ifadenin baş harflerinden oluşmaktadır. 1888 yılında Avusturyalı botanikçi ve kimyager Friedrich Richard Kornelius Reinitzer (Fridrih Riçhird Kornelyus Raynitzar), havuçtan elde edilen kolesteril benzoat ile deneyler yaparken bu maddenin iki farklı erime noktası olduğunu fark etmiştir. İlk erime noktasında iken maddenin tam olarak katı veya sıvı formda olmayıp katı sıvı arası formda bulunduğunu keşfetmiştir. Buna benzer iki farklı erime noktasına sahip maddeler **sıvı kristal madde** olarak adlandırılmaktadır.

LCD teknolojisinin çalışma prensibi ışığı yönlendirebilmeye dayanmaktadır. LCD'ler, tipik olarak aralarında sıvı kristal malzemeler içeren iki parça polarize (kutuplanmış) camdan yapılır. Bir arka ışık kaynağı tarafından oluşturulan ışık, bir alt tabakadan geçerken elektrik akımı da aynı anda sıvı kristal moleküllerini hizalar. Bu şekilde değişen derecelerde ışık, başka bir alt tabakadan geçebilir ve sonuç olarak görünür renkler ve görüntüler oluşturulur.

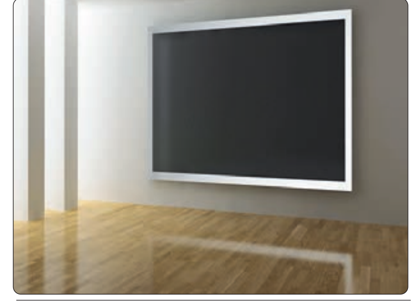
LCD'ler çeşitli teknolojik ürünlerde kullanılmıştır. Buna bilgisayar monitörleri, LCD televizyonlar, uçak kokpit ekranları, enstrümantal paneller, LCD projektörler, saatler, dijital kameralar, cep telefonları, hesap makineleri vb. örnek olarak verilebilir. Az yer kaplaması ve düşük enerji sarfiyatı LCD'lerin önemli avantajlarındandır. Görsel 6.10'da LCD ekran görülmektedir.



Görsel 6.10: *LCD ekran*

Plazma Teknolojisi

Gazlar, yüksek sıcaklık ve basınç altında iyonize olarak maddenin dördüncü hâli olan plazmayı oluşturur. Plazmalar, elektriksel olarak iyi iletkenlerdir. Plazma teknolojisi, alt piksellerin oluşturduğu renklere dayanmaktadır. Her bir alt pikselin içindeki gazlar, piksellerin uçları arasındaki potansiyel farktan dolayı, elektrik akımının etkisi ile plazma hâline dönüşmekte ve ışık yaymaktadır. Her bir alt piksel, içerdiği neon ve xenon gaz karışımları ile ışıktaki ana renklerden (kırmızı, yeşil ve mavi) birini üretmekten sorumludur. Ana renkleri yayan alt piksellerin yoğunlukları değiştirilerek ara renkler üretilmektedir. Ana ve ara renkleri yayan birçok pikselin farklı kombinasyonları ile ekranda dijital görüntü oluşturulmaktadır.



Görsel 6.11: *Plazma ekran*

Plazma ekranların (Görsel 6.11) diğer ekran türlerine kıyasla birçok avantajı vardır. Her piksel, plazma şeklinde bir ışık kaynağı içerdiği için plazma ekranlar, LCD ekranlara göre daha parlak ve daha yüksek yenileme hızına sahiptir. Bu nedenle plazma ekranlarda daha az hareket bulanıklığı oluşur. Plazma ekranların en büyük dezavantajı ise uzun çalışma sürelerinde ekran parlaklığının azalması ve görüntü kalitesinin düşmesidir.

ARAŞTIRMA

LCD ve plazma teknolojilerinin avantajlarını ve dezavantajlarını araştırarak sınıf içinde arkadaşlarınız ile paylaşınız.

SORU 2

LCD ve plazma teknolojileri ile ilgili

I. LCD'ler sıvı kristal madde ile çalışır.

II. Plazmalarda alt piksellerde bulunan xenon ve neon gazları, ışıktaki ara renkleri oluşturur.

III. Plazmalar, LCD ekranlara göre daha yüksek yenileme hızına sahiptir.

yargılarından hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

LCD'ler sıvı kristal madde ile çalışır. I. yargı doğrudur.

Plazmalarda alt piksellerde bulunan xenon ve neon gazları, ışıktaki ana renkleri oluşturur. II. yargı yanlıştır.

Plazmalar, LCD ekranlara göre daha yüksek yenileme hızına sahiptir. III. yargı doğrudur.

Cevap I ve III'tür.

UYGULAMA » 4

LCD ve plazma teknolojilerinin geliştirilmesinde fizik biliminin rolünü açıklayınız.

ETKİNLİK 1	Süre 20 dk.
Etkinliğin Adı	Görüntüleme Teknolojileri İnfografiği
Etkinliğin Amacı	Görüntüleme teknolojileri ile fizik bilimi arasındaki ilişkileri açıklayabilme.
Araç Gereç	Kalem, kâğıt, görüntüleme teknolojilerine ait resimler, yapıştırıcı, genel ağa bağlı cihaz.

Yönerge: Aşağıdaki metni okuyunuz ve ihtiyaç duymanız hâlinde genel ağdan veri toplayarak etkinliği uygulama aşamalarına göre tamamlayınız. Etkinliği tamamladıktan sonra "Etkinliğin Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



Bilgi veya verilerin görsel temsiline **infografik** denir. Verilmek istenen bilgi görsellerle desteklenerek daha kalıcı bir öğrenme sağlanabilir. İnfografikler tasarlanırken planlama ve uygulama süreçleri vardır. Ortaya çıkacak ürünün özgün, anlaşılır ve bilimsel etik kurallarına uygun olması gerekir.

Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Beşer kişilik gruplar oluşturunuz.
2. Grup üyelerinden birini sözcü olarak seçiniz.
3. Görüntüleme teknolojilerinden birini seçiniz.
4. Her grup, farklı bir görüntüleme teknolojisi seçmelidir.
5. Genel ağdan infografik örneklerini inceleyiniz.
6. Seçtiğiniz görüntüleme teknolojisi ile ilgili bir infografik tasarlayınız.
7. Tasarladığınız infografikle ilgili grup sözcünüz aracılığı ile sınıf içinde sunum yapınız.
8. Tasarladığınız infografiği okul panosunda sergileyiniz.

Etkinliğin Değerlendirmesi

1. İnfografikleri tasarlama sürecinde karşılaştığınız zorluklar nelerdir?



2. Tasarımlarınızın güçlü ve zayıf yönleri nelerdir?



3. Tasarımlarınızı daha etkili bilgi aktarma aracı hâline getirmek için önerileriniz nelerdir?



2.
BÖLÜM

6.2. YARI İLETKEN TEKNOLOJİSİ



Anahtar Kavramlar

- Yarı İletken
- Diyot
- Transistör
- LED
- Güneş Pili



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde yarı iletken teknolojisinin gelişimi, P tipi ve N tipi yarı iletkenler, yarı iletkenlerin teknolojideki kullanım alanları, diyot, transistör, LED ve güneş pilleri kavramları açıklanacak; güneş pillerinin kullanıldığı, günlük hayatı kolaylaştıran sistemlerin tasarlanması sağlanacaktır.



GÜNEŞ TARLALARI



Fosil enerji kaynakları bir yandan hızla tükenmekte diğer taraftan dünyaya telafisi mümkün olmayan hasarlar vermektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği, fosil yakıtların en bilinen olumsuz etkilerindendir. Günümüzde insan nüfusundaki artış, sanayileşme vb. nedenlerle enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için bilim insanları, farklı enerji kaynakları üzerinde çalışmaya devam etmektedir. Alternatif enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için güneş tarlaları kurulmaktadır. Güneş tarlaları, güneş panelleri yardımı ile yenilenebilir ve temiz enerji elde edilebilen sistemlerin kurulduğu tesislerin genel adıdır. Bu tesisler; güneş çiftlikleri, güneş parkları, güneş santralleri gibi isimlerle de anılmaktadır. İlk güneş tarlası, 1982 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde kurulmuştur. Mart 2022 itibarıyla dünyanın en büyük güneş tarlası, Hindistan'ın Rajasthan çöl bölgesinde bulunan Bhadla Solar Park'tır.

Güneş ışığı alma oranı yüksek bölgelere kurulan güneş tarlaları, bireysel veya kurumsal enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik faaliyet yürütebilmektedir. Son yıllarda özellikle sanayi bölgelerinde kurulan güneş santralleri, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. 2022 yılı Mart ayı verilerine göre ülkemizde güneş enerji santrallerinin kurulu gücü, 8028,9 MW seviyesine yükselmiştir. Toplam güneş santrali sayısı da 8566 olmuştur. Ülkemizde üretilen toplam enerjinin %8'i güneş enerjisinden elde edilmektedir.

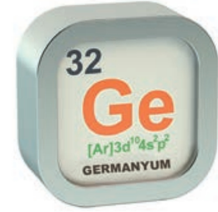


HAZIRLIK SORULARI

1. Güneş tarlaları ilk defa hangi yıl kurulmuştur?
2. Fosil yakıtların dezavantajlarını nedenleri ile açıklayınız?
3. Sizce güneş tarlalarının daha yaygın hâle gelmemesinin sebepleri nelerdir?

6.2.1. Yarı İletken Maddelerin Özellikleri

Maddeler elektriksel olarak sınıflandırılırken üzerinden elektrik akımının geçişine izin veren maddelere **iletken**, izin vermeyen maddelere ise **yalıtkan** denir. Bu iki sınıfın dışında üzerinden geçen elektrik akımına karşı gösterdiği direnç iletken ve yalıtkanlar arasında olan bir sınıf daha bulunmaktadır. Bu sınıfa **yarı iletkenler** denir. 19. yy. başlarından itibaren kullanılmaya başlanan yarı iletken malzemelerden günümüzde başta elektronik olmak üzere bilimsel çalışmalardan enerji üretimine kadar birçok alanda yararlanılmaktadır.



Görsel 6.12: Germanyum elementinin elektron dizilimi

Yarı iletkenler, normal şartlar altında yalıtkan maddelerdir. Dışarıdan ısı, ışık, manyetik etki veya gerilim altında bırakıldıklarında iletken hâle geçebilmektedir. Dışarıdan etki uygulanarak geçici iletkenlik kazanan yarı iletken malzemeler, dış etki kaldırıldığında yalıtkan hâle dönmektedir. Yarı iletkenler, doğada basit hâlde bulunabildiği gibi bileşik olarak laboratuvarlarda da üretilebilmektedir. Germanyum (Ge), silisyum (Si), selenyum (Se), bakır oksit (CuO), galyum arsenit (GaAs), indiyum fosfor (InP), kurşun sülfür (PbS) sıklıkla kullanılan basit ve bileşik hâldeki yarı iletkenlere örnek gösterilebilir.



Görsel 6.13: Silisyum elementinin elektron dizilimi

Yarı iletkenlerin elektron diziliminde, son yörüngelerinde (valans yörüngeleri) 4 elektron bulunmaktadır. Yarı iletkenler, son yörüngelerindeki 4 elektronu 8 elektrona tamamlama eğilimindedir. Bu nedenle yarı iletkenler, kovalent bağ ile son yörüngelerindeki elektron sayısını 8 elektrona tamamlar. Elektronik sistemlerde en çok silisyum ve germanyum yarı iletkenleri kullanılmaktadır. Silisyum ve germanyum saf hâlde kullanılmaz. Silisyum ve germanyum başka maddelerle katkılanarak **N tipi (negatif)** veya **P tipi (pozitif)** maddeler elde edilmektedir.

N tipi maddeler, silisyum veya germanyumun arsenik gibi son yörüngesinde 5 elektron bulunan bir madde ile katkılanması sonucu oluşturulan kovalent bağda 1 elektronun serbest kalması ile elde edilmektedir.

P tipi maddeler, silisyum veya germanyumun indiyum gibi son yörüngesinde 3 elektron bulunan bir madde ile katkılanması sonucu oluşturulan kovalent bağda meydana gelen oyuğun (boşluğun) elektron almak istemesi ile elde edilir.

UYGULAMA » 1

Yarı iletkenlerin genel özelliklerini yazınız.



SİMÜLASYON 1

Süre	20 dk.
Simülasyonun Adı	Yarı İletkenler
Simülasyonun Amacı	P ve N tipi yarı iletkenlerin devre üzerindeki etkilerini analiz edebilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruyu cevaplayınız.



Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Karekoddan yararlanarak "Yarı İletkenler" isimli simülasyona ulaşınız.
2. Simülasyonda verilen yarı iletken tiplerini veya devre gerilimini değiştirerek elektrik devresindeki değişimleri analiz ediniz.

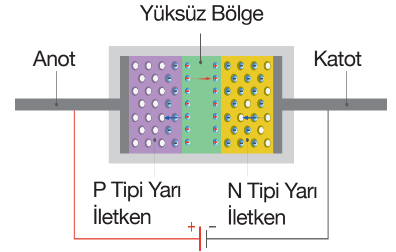
Simülasyonun Değerlendirmesi

Elektrik devresinde P tipi ve N tipi yarı iletkenlerin tek başına veya birlikte kullanılması sonucunda devrede ne gibi değişiklikler meydana geldiğini nedenleri ile açıklayınız.

ARAŞTIRMA Yarı iletkenlerin günlük hayatımıza katkılarını araştırınız. Araştırma sonucunda elde ettiğiniz verileri sınıf içinde arkadaşlarınızla paylaşınız.

6.2.2. Yarı İletken Malzemelerin Teknolojideki Önemi

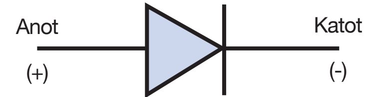
Yarı iletkenlerin katkılanmasıyla oluşturulan P ve N tipi maddeler, tek başlarına kullanıldıklarında elektrik akımını iki yönlü taşıyabildiklerinden elektronik devreler için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle P ve N tipi maddeler birleştirilerek P-N eklemleri oluşturulmaktadır. Bu eklemler kullanılarak farklı devre elemanları üretilmektedir. Diyot, transistör, LED ve güneş pili yarı iletkenlerden yapılan ve sıklıkla kullanılan devre elemanlarıdır.



Şekil 6.1: *Diyodun yapısı*

Diyot

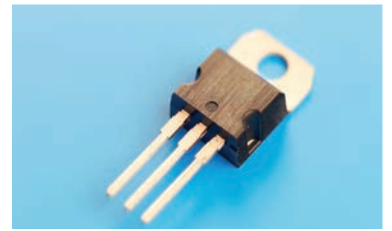
Diyot, P ve N tipi yarı iletkenlerin birleşmesi ile oluşan ve tek yönlü akım ileten devre elemanıdır. Diyodun bir yöndeki direnci ihmal edilebilecek kadar küçükken diğer yöndeki direnci çok büyüktür. Diyot, tek yönlü akım iletmesinden dolayı tek yönlü bir anahtarlama elemanı olarak çalışmaktadır. Şekil 6.1'de diyodun yapısı gösterilmektedir. Diyodun anodundan katoduna doğru akım gönderildiğinde akım geçişi olmakta fakat tersi yönde akım gönderildiğinde akım geçişi olmamaktadır. Şekil 6.2'de diyodun devre sembolü gösterilmektedir. Diyotlar, alternatif akımı doğru akıma çevirmekten devre sinyallerini ayrıştırmaya kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır.



Şekil 6.2: *Diyodun devre sembolü*

Transistör

Transistör (Görsel 6.14), elektronik sinyallerin akışını kontrol eden veya devrede anahtarlama elemanı olarak görev yapan yarı iletkenlerden yapılmış bir devre elemanıdır. Transistörler, günümüzde kullanılan elektronik cihazların en temel bileşenlerinden biridir. Yapısal olarak diyoda benzeyen transistörlerin diyotlardan başlıca farkı, 3 yarı iletkenin birleşmesinden oluşmasıdır. Transistörler, 2 P tipi ile 1 N tipi yarı iletkenin veya 1 P tipi ile 2 N tipinin birleşmesinden meydana gelmektedir.


Görsel 6.14: *Transistör*

UYGULAMA » 2

Yarı iletkenlerin teknolojideki önemini günlük hayattan örneklerle açıklayınız.

ARAŞTIRMA

Birçok elektronik cihazda elektronik devreler bulunur. Bu devrelerde kullanılan devre elemanlarının temel yapı taşı kumdur. Kumun elektronik devre elemanı hâline gelme sürecini araştırınız. Araştırma sonucunda elde ettiğiniz verileri bir sunum hazırlayarak sınıf içinde arkadaşlarınızla paylaşınız.

6.2.3. LED Teknolojisi

LED kısaltması, "ışık yayan diyot" anlamına gelen Light Emitting Diode (Layt Imiding Dayd) kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmektedir. LED (Görsel 6.15), bir tür diyottur. LED'in devredeki temel görevi ışık yaymaktır. LED'ler farklı renklerde ışık yayabilmektedir.

LED'lerin akkor ampullere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Daha uzun ömürlü olması
- Enerji sarfiyatının daha az olması
- Çevresel faktörlerden daha az etkilenmesi
- Tasarım esnekliğine sahip olması
- Düşük voltajla çalışabilmesi
- Daha güvenli olması
- Ultraviyole ışık yaymaması



Görsel 6.15: LED

Avantajlarından dolayı LED'lerin kullanım alanları oldukça geniştir. LED'ler ekranlardan mekân aydınlatmasına, araç farlarından kumandalara kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

UYGULAMA » 3

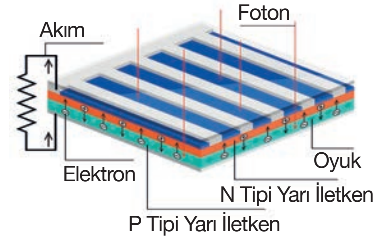
LED'lerin kullanımlarına günlük hayattan örnekler veriniz.

MERAKLISINA BİLİM

LED'ler, P-N ekleminden elektron geçişi sayesinde ışık yayar. Bu olaya elektrolüminesans denir. Elektrolüminesans olayı, 1907 yılında kristal detektörü ile yapılan bir deney esnasında keşfedilmiştir.

6.2.3. Güneş Pilleri

Üzerine düşen ışık enerjisini fotoelektrik olayı sonucunda elektrik enerjisine çeviren sistemlere **güneş pili** denir. Güneş pillerine **fotovoltaik** pil de denmektedir. Güneş pilleri, P-N eklemlerinin üst üste konması ile elde edilir. Eklemlerin üzerine düşen ışığın, fotoelektrik olayı sonucunda, elektron koparması ile N ekleminden P eklemine doğru elektron geçişi olur. Güneş pilleri, fotovoltaik hücrelerden meydana gelmektedir. Şekil 6.3'te güneş pilinin yapısı gösterilmektedir.



***Şekil 6.3:** Güneş pilinin yapısı*

İlk üretilen güneş pillerinin verimleri çok düşükken bilim insanlarının azimli çalışmaları sonucunda güneş pilleri gün geçtikçe daha verimli hâle gelmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre ülkemizin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat, ortalama yıllık toplam ışınım değeri metrekare başına 1527,46 kWh'tir. Ülkemiz, güneş enerjisi bakımından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Artan enerji ihtiyacının karşılanması ile ilgili en önemli çözümlerden biri güneş enerjisidir. Yenilenebilir ve temiz enerji kaynağı olan güneş enerjisinin kullanım alanı gün geçtikçe genişlemektedir. Güneş pilleri; haberleşme, deniz fenerleri, petrol boru hatları, güvenlik kameraları, elektrik dağıtımı, su dağıtımı, meteoroloji istasyonları, alarmlar, tarımsal sulama sistemleri vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

MERAKLISINA BİLİM

Güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmenin ilk adımı, 1839'da Fransız bilim insanı Edmond Becquerel (İdmund Bekerel) tarafından atıldı. Bir elektrolitteki iki elektrodu güneş ışığına maruz bırakan Becquerel, elektrik akımında açıklayamadığı bir artış gözlemledi. Bu nedenle Becquerel, günümüzde fotovoltaik etki olarak tanımlanan şeyi gözlemleyen ilk kişi olarak bilinir.

UYGULAMA » 4

Güneş pillerinin çalışma prensibini açıklayarak kullanım alanlarına günlük hayattan örnekler veriniz.

ARAŞTIRMA

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'nı inceleyerek ülkemizdeki şehirlerin güneş enerjisi verimini karşılaştırınız. Elde ettiğiniz veriler ışığında güneş pillerinin günümüzdeki ve gelecekteki yerini arkadaşlarınızla tartışınız.

SORU 1

I. Direnç
II. Diyot
III. Transformatör
IV. LED
V. Fotovoltaik pil

Yukarıda verilen devre elemanlarından hangilerinin yapısında yarı iletken malzeme bulunur?

ÇÖZÜM

Diyot, LED ve fotovoltaik pilin (güneş pili) yapısında yarı iletken malzeme bulunur. Direnç ve transformatörün yapısında yarı iletken malzeme bulunmaz.

Cevap II, IV ve V'tir.

ETKİNLİK 2	Süre 40 dk.
Etkinliğin Adı	Güneş Pili Kullanılan Enerji Sistemleri
Etkinliğin Amacı	Güneş pillerini kullanarak günlük hayatı kolaylaştıran sistem tasarlayabilme.
Araç Gereç	Kalem, kâğıt, görüntüleme teknolojilerine ait resimler, yapıştırıcı, genel ağa bağlı cihaz.

Yönerge: Uygulama aşamalarını takip ederek etkinliği gerçekleştiriniz. Etkinliği tamamladıktan sonra "Etkinliğin Değerlendirmesi" kısmında verilen soruları cevaplayınız.

! **Uyarı:** Tasarımlarınızla ulusal veya uluslararası yarışmalara katılabileceğinizi unutmayınız!

Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Beşer kişilik gruplar oluşturunuz.
2. Tasarıma başlamadan önce grup arkadaşlarınızla tasarım modeli ve günlük hayatta kolaylaştırmak istediğiniz problem üzerine fikir alışverişinde bulununuz.
3. Grup üyelerinin tasarım fikirlerinin avantaj ve dezavantajlarını belirleyiniz.
4. Grup olarak hangi tasarımı yapacağınıza ve tasarımın adının ne olacağına karar veriniz.
5. Tasarımınızı ayrıntılı bir şekilde kâğıda çiziniz.
6. Tasarımınızın ülke ekonomisine ve çevreye sağlayacağı katkılar hakkında bir sunum yapınız.

Etkinliğin Değerlendirmesi

1. Gruplar tarafından ortaya konan tasarımların kullanım alanlarını ve bu alanlarda günlük hayatı nasıl kolaylaştırdığını belirtiniz.



2. Grupların tasarımlarından uygun olanları birleştirerek daha verimli tasarımlar oluşturunuz. Bu tasarımlarla ulusal veya uluslararası yarışmalara katılınız.



3. BÖLÜM

6.3. SÜPER İLETKENLER



Anahtar Kavramlar

Süper İletken



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde süper iletken maddenin temel özellikleri açıklanacak, süper iletkenlerin teknolojideki kullanım alanlarına örnekler verilecek, hızlı trenlerin ve parçacık hızlandırıcıların çalışma prensipleri üzerinde durulacaktır.



YER UÇAĞI-YÜKSEK HIZLI TRENLER

Yüzyıllar önce insanların yürüyerek veya at sırtında yaptığı günler, aylar süren yolculuklar, günümüzde saatler içinde gerçekleştirilmektedir. Mesafeler değişmese de gelişen teknoloji sayesinde seyahat süreleri gün geçtikçe kısalmaktadır. Bu durum, insanoğlunun birbiriyle etkileşimini üst düzeye çıkarmaktadır. Dünyanın en uzak noktalarına bile atalarımıza nazaran çok kısa sayılabilecek sürelerde farklı araçları kullanarak ulaşabilmekteyiz. Gelişen teknolojinin yardımıyla gemiler, arabalar, trenler, uçaklar vb. gün geçtikçe daha hızlı, daha verimli, daha konforlu yolculuklar sunmaktadır.



Ülkemizde 1856 yılından itibaren, ilki İzmir-Aydın arasında olmak üzere farklı güzergâhlarda demir yolları inşa edilmiştir. 13 Mart 2009'da hizmete giren ilk yüksek hızlı tren Ankara-Eskişehir arasında sefer yapmıştır. Bu tarihte ülkemiz, dünyada yüksek hızlı tren kullanan 8 ülkeden biri olmuştur. Ülkemiz, raylı sistem taşımacılığına da önemli yatırımlar yapmaktadır. Bu yatırımlar sonucunda 2011 yılında Ankara-Konya, 2014'te Ankara-İstanbul arasında sefer yapan yüksek hızlı trenler hizmete başlamıştır. Ankara-Konya arasında hizmet veren yüksek hızlı tren, 287 km/h sürate ulaşmıştır.

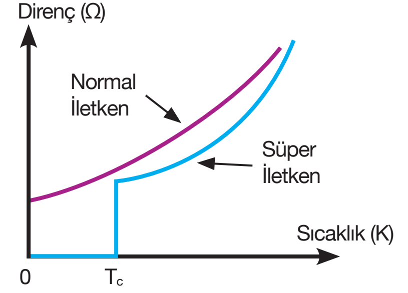
Japonya, Güney Kore ve Çin Halk Cumhuriyeti'nde kullanılan yüksek hızlı trenler, ülkemizdekilerden farklı bir sistemle çalışmaktadır. Japonya'da bulunan yüksek hızlı trenin hızı 603 km/h'i aşmıştır. Bu hız, havadaki bir uçağın hızına yakındır.



HAZIRLIK SORULARI

1. **Ülkemizdeki yüksek hızlı trenlerin ulaştığı en yüksek sürat kaç km/h'tir?**
2. **Ulaşım araçlarının daha yüksek hızlarla sefer yapmasının avantajları nelerdir?**
3. **Japonya'da bulunan yüksek hızlı trenin hızının 603 km/h'e ulaşması nasıl sağlanmış olabilir? Bunun gibi yüksek hızlarda seyahat etmenin insan üzerindeki etkileri neler olabilir?**

6.3.1. Süper İletkenler



Grafik 6.1: *Normal ve süper iletkenlerin sıcaklığa bağlı direnç grafiği*

Günlük hayatta kullanılan tüm maddelerin, üzerlerinden geçen elektrik akımına karşı belli bir elektriksel direnci vardır. Maddenin direncinden dolayı elektrik enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Maddenin direnci arttıkça elektriksel enerjideki kayıp da artmaktadır. Bazı maddeler, belli bir sıcaklık değerinin altında elektriksel direnç göstermemektedir. Elektriksel direnci sıfır olan maddelere **süper iletken** denir. Maddelerin elektriksel direncinin sıfır olduğu sıcaklık değerine **kritik sıcaklık** (T_c) denir. Grafik 6.1'de normal iletkenler ile süper iletkenlerin dirençlerinin sıcaklığa bağlı değişim grafiği gösterilmektedir.

1911 yılında Hollandalı fizikçi Heike Kamerlingh Onnes (Hayke Kamerling Ons), sıcaklığı 4,2 kelvin değerine düşen cıvanın, üzerinden geçen elektrik akımına karşı herhangi bir direnç göstermediğini keşfetmiştir. Bu keşif sayesinde Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır. Heike Kamerlingh Onnes, ulaştığı sonucu doğrulamak için süper iletken hâle gelen cıvaya elektrik akımı vermiş, sonra devreden üreteci çıkarmış ve elektrik akımının herhangi bir gerilim kaynağına ihtiyaç duymadan devrede dolandığını fark etmiştir. Bu keşiften yaklaşık 22 yıl sonra Walther Meissner (Volter Maysner) ve Robert Ochsenfeld (Rober Ohsenfayld) tarafından tüm süper iletkenlerin çevrelerindeki manyetik alanı dışladığı gözlemlenmiştir. Böylelikle süper iletkenlerin diyamanyetik özellik gösterdiği keşfedilmiştir. 1911 yılından günümüze kadar Heike Kamerlingh Onnes ve farklı bilim insanları tarafından birçok element ve alaşımın farklı kritik sıcaklık değerlerinde süper iletkenlik özelliği kazandığı ortaya konmuştur. Süper iletkenlerin insanoğlu için büyük bir önemi vardır. En önemli avantajları, enerji kayıplarını azaltarak enerji tasarrufu sağlamalarıdır.

1972 yılında John Barden (Con Berdin), Leon Cooper (Lıın Kupır) ve John Schrieffer (Con Şirifır); elektron çiftleri (Cooper çiftleri) kavramı ile süper iletkenliği açıklayarak Nobel Fizik Ödülü kazanmıştır. Süper iletkenler; MAGLEV treni, MAGLEV rüzgâr türbini, parçacık hızlandırıcı, kablo, manyetik güç depolama birimi, manyetik rezonans (MR) cihazı vb. sistemlerde kullanılmaktadır.

UYGULAMA » 1

Süper iletkenlerin temel özelliklerini açıklayarak normal iletkenlerle benzer ve farklı yönlerini belirtiniz.

6.3.2. Süper İletkenlerin Teknolojideki Kullanım Alanları

MAGLEV Treni

Günümüz dünyasında toplu taşımanın çok büyük bir önemi vardır. Tarihsel süreçte dünyanın bir noktasından başka bir noktasına daha kısa sürelerde seyahat edilmesini sağlayacak birçok araç icat edilmiştir. Bunlardan biri olan MAGLEV trenleri, Jesse Powell (Cesi Povil) ve Gordon Danby (Gordın Denbi) adındaki iki bilim insanı tarafından süper iletkenler kullanılarak tasarlanmıştır. Powell ve Danby, süper iletken mıknatıslar tarafından oluşturulan güçlü manyetik kuvvet ile bir trenin havada tutulabileceğini ve hareket ettirilebileceğini öne sürmüştür. Cisimlerin, ağırlıklarına rağmen süper iletken maddelerde görülen manyetik itme kuvveti (Meissner etkisi) sayesinde desteksiz havada kalması ya da bir alanda havada hareket etmesi olayına **levitasyon** denmektedir.


Görsel 6.16: *2004 yılında Şangay'da hizmete giren MAGLEV treni*

Bu tasarımın üzerinden yaklaşık 44 yıl geçtikten sonra ilk ticari MAGLEV treni, 2004 yılında Çin Halk Cumhuriyeti'ne bağlı Şangay şehrinde (Görsel 6.16) hizmete girmiştir. Japonya ve Güney Kore'de de MAGLEV trenleri bulunmaktadır.

MAGLEV trenlerinin çalışma prensibi 3 döngüye dayanmaktadır. 1. döngüde manyetik kuvvet yardımı ile tren dikey olarak raydan yaklaşık 12,7 cm yükseltilir. 2. döngüde tren yatay olarak uygun bölümde tutulur. 3. döngüde tren manyetik kuvvetin etkisi ile hareket ettirilir.

ARAŞTIRMA

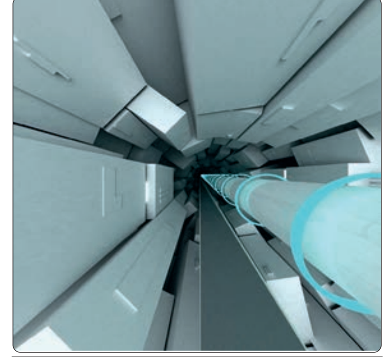
MAGLEV trenlerinin avantaj ve dezavantajlarını araştırarak elde ettiğiniz verileri sınıf içinde arkadaşlarınız ile paylaşınız.

Parçacık Hızlandırıcılar

Yüklü temel parçacık demetlerini elektrik alanının yardımıyla hızlandıran ve manyetik alanın yardımı ile bir arada tutan gelişmiş sistemlere **parçacık hızlandırıcı** denir. Parçacık hızlandırıcılarda süper iletkenler yardımıyla yüksek hızlara çıkarılan temel parçacıklar çarpıştırılmaktadır. Daha sonra bu çarpışmalardan dedektörler yardımıyla elde edilen veriler analiz edilmektedir.

Parçacık hızlandırıcılarda elde edilen veriler; başta parçacık fiziği ve nükleer fizik alanlarında olmak üzere petrol ve gaz rezervlerinin belirlenmesi, nanoteknoloji, nükleer atıkların temizlenmesi, biyoteknoloji, gen bilimi, gıda sterilizasyonu, savunma sanayi vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

Dünyanın en büyük ve güçlü parçacık hızlandırıcısı Large Hadron Collider [Larç Hedron Kolaydır (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı)], kısa ismi ile LHC, 10 Eylül 2008'de Avrupa Nükleer Araştırma Merkezinin (CERN) parçacık hızlandırıcı kompleksinde faaliyete başlamıştır. Görsel 6.17'de parçacık hızlandırıcı tüneli gösterilmektedir.



Görsel 6.17: *Parçacık hızlandırıcı tüneli*

UYGULAMA » 2

Süper iletkenlerin kullanım alanlarını örneklerle açıklayınız.

ARAŞTIRMA

Türk Hızlandırıcı Işınım Laboratuvarı (TARLA) hakkında araştırma yapınız ve elde ettiğiniz verileri bir sunum hazırlayarak sınıf içinde arkadaşlarınızla paylaşınız.

SORU 1

Süper iletkenler ile ilgili

I. Enerji tasarrufu sağlar.
II. Manyetik alanı dışlar.
III. Normal iletkenler, kritik basınç altında süper iletkene dönüşür.

yargılarından hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

Süper iletkenler, üzerlerinden geçen elektrik akımına direnç göstermediklerinden enerji tasarrufu sağlar. I. yargı doğrudur.

Süper iletken maddeler diyamanyetiktir. Bu nedenle manyetik alanı dışlar. II. yargı doğrudur.

Normal iletkenler, kritik sıcaklık değerinde süper iletkene dönüşür. III. yargı yanlıştır.

Cevap I ve II'dir.

4. BÖLÜM

6.4. NANOTEKNOLOJİ



Anahtar Kavramlar

- Nanoteknoloji
- Nanobilim



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde nanobilimin temelleri açıklanacak, fizik bilimi ile nanobilim ve nanoteknolojinin ilişkisi üzerinde durulacak, fonksiyonel ve doğal nanoyapılara sahip sistemlere örnekler verilecektir.



SU HAKKI



Yaşamın devam etmesinin en temel şartlarından biri temiz sudur. Bugün dünya genelinde 844 milyon insanın içme suyuna, 2,1 milyar insanın temiz suya erişiminde sıkıntılar yaşanmaktadır. Küresel ısınma, hava kirliliği, artan nüfus vb. etkilerle bu sayılar gün geçtikçe artmaktadır. İnsanların temiz suya erişiminin olmayışı, beraberinde salgın hastalıklar gibi felaketlerin oluşmasına zemin hazırlamaktadır.

Bilim insanları, küresel çaptaki bu sorunu çözebilmek için yıllardır çalışmalar yapmaktadır. Özellikle kirli suyu kısa sürede ve uygun maliyetlerle dezenfekte etmek, bu çalışmaların başında gelmektedir. Son yıllarda insan gözünün göremeyeceği boyuttaki küçük yapılardan oluşan filtre sistemleri geliştirmek için bir proje yürütülmektedir. Bu proje ile özellikle suya erişim sıkıntısının en fazla olduğu 3. dünya ülkelerinde kirli suyun yabancı maddelerden arındırılması ve deniz suyunun içilebilir hâle getirilmesi amaçlanmaktadır. Hâlâ gelişim aşamasında olan projenin, yüksek maliyetinin yakın gelecekte çözüme kavuşturulması beklenmektedir.

Ülkemizin zengin su kaynakları; küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevre kirliliği nedeniyle her geçen yıl azalma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle suyun verimli ve tasarruflu bir şekilde kullanılması son derece önemlidir. Bu, gelecek kuşakların temiz suya erişiminde bir sıkıntı yaşanmaması için bir tercih değil, zorunluluktur.



HAZIRLIK SORULARI

1. Temiz suya erişememenin küresel etkileri nelerdir?
2. Deniz suyundan içme suyu elde edilmesi nasıl sağlanabilir?
3. Su krizinin çözümüne bireysel düzeyde nasıl katkı sağlayabilirsiniz?

6.4.1. Nanobilim

Nanobilim, 29 Aralık 1959'da fizikçi Richard Feynman'ın (Riçhırd Faynmın) Amerikan Fizik Derneğindeki toplantıda yaptığı "Altta Çok Yer Var" başlıklı konuşmasında bilim insanlarının atomları ve molekülleri yönlendirebileceği düşüncesini dile getirmesiyle başlamıştır.

Nanoboyutta maddeler çok küçüktür. Bu nedenle maddeleri bu boyutta çıplak gözle görmek imkânsızdır. Bilim insanları, nanoboyutta maddeleri görebilmek için 1981 yılında atomları tek tek görüntüleyebilen taramalı tünelleme mikroskobunu geliştirmiştir. Bu gelişme, modern nanobilimin başlangıcı sayılmaktadır.

Bir nanometre, metrenin milyarda birine karşılık gelmektedir. Boyutları 1 ila 100 nanometre arasında olan maddelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini inceleyen bilim dalına **nanobilim** denir. Nanobilim alanında çalışan bilim insanları ve mühendislerin nanoboyutta ortaya koydukları yenilikçi teknolojiler ise **nanoteknoloji** olarak isimlendirilir.



Görsel 6.18: *Gekonun ayağı*

Nanoteknoloji; fizik, kimya, optik, elektrik vb. alanlarda var olan maddelere kıyasla daha kullanışlı ürünler ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır.

Fizik bilimi ile nanobilim ve nanoteknoloji arasında yakın bir ilişki vardır. Fizikteki gelişmeler, nanoteknolojiyi etkilerken nanoteknolojideki gelişmeler de fizik bilimine katkı sunmaktadır.

Nanobilimle sadece teknolojik ürünlerde değil doğada da karşılaşılmaktadır. Örneğin bir tür kertenkele olan gekonun ayak yapısı (Görsel 6.18), sürtünmesi az olan yüzeylerde bile rahatlıkla hareket etmesine olanak vermektedir. Bu durum, gekoların ayaklarında bulunan nanotüyler sayesinde mümkün olmaktadır. Kelebeklerin kanatlarındaki renkli bölgeler de nanoyapılar tarafından oluşturulmaktadır. Örümcek ağlarının sağlamlığı, ham maddesi aynı olmasına rağmen yünün şekerden daha sağlam olması, lotus çiçeğinin kendini temizleme özelliği nanoyapılarla açıklanmaktadır.

UYGULAMA » 1

Nanobilimin temel özelliklerini açıklayınız.

MERAKLISINA BİLİM

Geko kertenkelesinin ayağında bulunan doğal ve fonksiyonel nanoyapılardan esinlenilerek geko yapıştırıcısı üretilmiştir.

UYGULAMA » 2

Fizik bilimi ile nanobilim ve nanoteknoloji arasındaki ilişkiyi örnekler vererek açıklayınız.

ARAŞTIRMA

Doğal nanoyapıların taklit edilmesinin insanoğluna sağladığı avantajları araştırarak elde ettiğiniz verileri sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

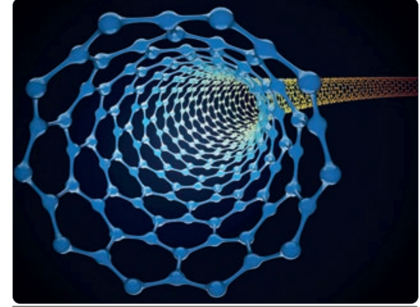
UYGULAMA » 3

Fonksiyonel ve doğal nanoyapılara örnekler veriniz.

6.4.2. Nanomalzemeler

Nanoteknoloji ile üretilen malzemelere **nanomalzeme** denir. Büyük boyutlu yapılara nazaran nanoteknoloji ile üretilen nanomalzemeler, yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahiptir.

Bir malzemenin makro ve mikro boyuttaki optik, mekanik, elektriksel, renk vb. özellikleri nanoboyutta farklılaşabilmektedir. Bunun en temel nedeni, ölçülerin makro boyutta sürekli, nanoboyutta süreksiz olmasıdır. Örneğin bakır, normal boyutlarda şeffaf değilken nanoboyutta şeffaftır. Altın, normal boyutlarda reaksiyona girmeyen sarı renkli bir metal iken nanoboyutta aktif reaksiyona girebilen kırmızı renkli bir malzemedir. Görsel 6.19'da bir nanomalzeme olan karbon nanotüp gösterilmektedir.



***Görsel 6.19:** Karbon nanotüp*

UYGULAMA » 4

Nanomalzemelerin temel özelliklerini açıklayınız.

6.4.3. Nanomalzemelerin Kullanım Alanları

Nanomalzemeler, artık hayatın ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Günümüz koşullarında daha az enerji harcayan, daha az yer kaplayan, daha hızlı ve daha verimli ürünlere duyulan ihtiyaç artmaktadır.

Nanomalzemeler; başta elektronik, tıp, havacılık, uzay, tarım, savunma, enerji, tekstil, boya ve bilgisayar olmak üzere birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Örneğin boya sanayisinde leke tutmayan, silinebilen veya kendisini temizleyebilen boyalar üretilmesinde nanomalzemelerden yararlanılmaktadır. Tekstil alanında yanmayan, leke tutmayan, su geçirmeyen, ütü gerektirmeyen kumaşlar nanomalzemelerden üretilmektedir.

Tıp alanında ise yapay organlar ve hedeflendirilmiş ilaç taşıma sistemlerinin üretiminde nanomalzemeler önemli bir yer tutmaktadır. Nanoteknoloji, hâlâ gelişmekte olan bir teknolojidir ve bu teknolojinin kullanım alanları gün geçtikçe genişlemektedir.

ARAŞTIRMA Tarımda nanomalzemelerin kullanım yerlerini araştırarak sınıf içinde arkadaşlarınıza sunum yapınız.

SORU 1

Nanomalzemeler ile ilgili

I. Maddenin mikro boyutu ile nanoboyutu her zaman aynı fiziksel, kimyasal özelliklere sahiptir.
II. Karbon nanotüp bir nanomalzemedir.
III. Elektronik, tıp, havacılık, uzay, tarım, savunma, enerji, tekstil vb. alanlarda kullanılır.

yargılarından hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

Maddenin mikro boyutu ile nanoboyutu her zaman farklı fiziksel, kimyasal özelliklere sahip olabilmektedir. I. yargı yanlıştır.

Karbon nanotüp, nanoteknoloji ile üretilmiş bir nanomalzemedir. II. yargı doğrudur.

Nanomalzemeler; elektronik, tıp, havacılık, uzay, tarım, savunma, enerji, tekstil vb. alanlarda kullanılır. III. yargı doğrudur.

Cevap II ve III'tür.

ETKİNLİK 3	Süre 40 dk.
Etkinliğin Adı	Nanomalzemeler
Etkinliğin Amacı	Nanomalzemeler yardımıyla küresel problemlere çözüm bulabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Aşağıdaki metni okuyunuz. Genel ağdan veri toplayarak bir sunum hazırlayınız ve etkinliği uygulama aşamalarına göre tamamlayınız. Etkinliği tamamladıktan sonra "Etkinliğin Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.

Küresel ısınma, pandemi, gıda krizi, enerji krizi, su krizi vb. küresel sorunları çözüme kavuşturmak için bilimden yararlanılır. Kullanım alanı gün geçtikçe genişleyen nanoteknoloji, farklı disiplinlerdeki uygulamalarıyla bu sorunların çözümünde insanlara yardımcı olabilecek bir teknolojidir.

Etkinliğin Uygulama Aşamaları

1. Beşer kişilik gruplar oluşturunuz.
2. Grup arkadaşlarınızla birlikte küresel problemlerden birini seçiniz.
3. Seçtiğiniz küresel problem ve problemin çözümünde kullanacağınız nanoteknoloji ile ilgili araştırma yapınız.
4. Araştırma sonucunda elde ettiğiniz verilerden yararlanarak bir sunu hazırlayınız.
5. Hazırladığınız sunuyu sınıf içinde bir sunum yaparak arkadaşlarınızla paylaşınız.

Etkinliğin Değerlendirmesi

1. Küresel problem ile ilgili çözüm geliştirirken ne gibi zorluklarla karşılaştınız?



2. Küresel problemin çözümünde kullandığınız nanomalzemelerin avantaj ve dezavantajları nelerdir?



5. BÖLÜM

6.5. LASER IŞINLARI



Anahtar Kavramlar

LASER



NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

Bu bölümde LASER ışınlarının nasıl elde edildiği açıklanacak ve teknolojideki kullanım alanlarına örnekler verilecektir.



AY NE KADAR UZAKLIKTA?



NASA'nın yürüttüğü Apollo programı çerçevesinde Ay'ın yüzeyine 5 adet yansıtıcı ayna sistemi yerleştirilmiştir. İlk ayna sistemi, Apollo 11 astronotları tarafından 21 Temmuz 1969 yılında konumlandırılmıştır. Bu ayna sistemlerinin temel amacı, ışığı kullanarak Dünya ile Ay arasındaki mesafeyi ölçmektir. Dünya'dan Ay'a gönderilen ışığın gidiş ve dönüş sürelerinin toplamının yarısı ile ışık hızı çarpılarak Dünya ile Ay arasındaki uzaklığın hesaplanması mümkündür.

Bu fikir üzerine çalışmalar yapılırken ışığın uzak mesafelerde dağıldığı ve Dünya'dan gönderilen ışınların Ay yüzeyine ulaşmadığı fark edilmiştir. Bu nedenle sapması çok az olan, şiddetlendirilmiş bir ışın türü kullanılması zorunluluğu doğmuştur. Kullanılan ışığın tutarlı, yönlendirilmiş, odaklı ve yüksek enerjili olması sayesinde sapma miktarı azalacak ve daha hassas ölçüm yapılabilecektir. Bilim insanları, Dünya ile Ay arasındaki mesafeyi hesaplayabilmek için bu özelliklere sahip LASER ışınlarını kullanmaktadır. 1969 yılından günümüze kadar sayısız ölçme deneyi yapılmış ve ölçmedeki hata miktarı giderek azalmıştır. Günümüzde Dünya ile Ay arası uzaklık, milimetrik hata payıyla ölçülebilmektedir.

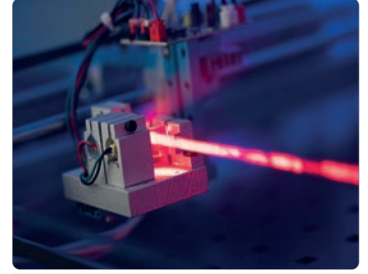
Günlük hayatta karşılaşılan mesafelere nazaran Dünya ile Ay arasındaki mesafe çok büyüktür. Bu büyüklükte bir mesafeyi ölçmek için kullanılan güçlü LASER'lerden katrilyonlarca foton Ay yüzeyine gönderilse de bunların çok az bir kısmı Dünya'ya geri dönebilmektedir. Geri dönen az miktardaki ışın, yer teleskopları ile tespit edilip analiz edilerek Dünya ile Ay arasındaki mesafe ve Ay'ın karakteristik özellikleri hakkında bilgiler edinilmektedir. Güneş sistemindeki diğer gök cisimlerine de yüzey aynaları yerleştirilmesi ve ölçme alanının genişletilmesi projenin ilerleyen adımlarındandır.



HAZIRLIK SORULARI

1. **Bilim insanları, neden şiddetlendirilmiş ışık kullanmak zorunda kalmıştır?**
2. **Dünya'dan Ay'a gönderilen bir LASER ışınının gidiş-dönüş süresi yaklaşık 2,5 saniye ise Dünya ile Ay arası uzaklık yaklaşık kaç km'dir?**
3. **Dünya ile Ay arasındaki mesafe, LASER ışınıyla ölçülürken ölçmede hataya yol açabilecek faktörler nelerdir? Nedenleri ile açıklayınız.**

6.5.1. LASER Işınının Oluşumu


Görsel 6.20: LASER

Üst enerji seviyesinde bulunan bir elektronun bir foton ile etkileşime girerek daha düşük enerji seviyesine geçme sürecine **uyarılmış emisyon** adı verilir. Işığın uyarılmış emisyon yoluyla şiddetlendirilmesini sağlayan cihaza **LASER** (Görsel 6.20) denir. LASER cihazından çıkan ışınlar ise **LASER ışınları** olarak adlandırılır. LASER kelimesi, İngilizce Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation [Layt Emplifikeyşın bay Sitimuleytıt Emişın of Redieyşın (Işığın Uyarılmış Işın Salımıyla Yükseltilmesi)] kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmektedir. 1960 yılında Theodore Maiman (Teodor Meymen), yakut kristal çubuk etrafına sarılı güçlü bir ampulü kullanarak LASER'i icat etmiştir.

Işık, dalgalar hâlinde hareket eder. Örneğin bir ampulden veya bir el fenerinden yayılan görünür ışık, birden fazla dalga boyunu veya rengi içerir ve tutarsızdır. Diğer bir deyişle ışık dalgalarının tepeleri ve çukurları farklı dalga boylarında ve farklı yönlerde hareket eder. LASER ışınları, elektromanyetik spektrumdaki ışınlardan farklıdır. Bu ışınlar, doğada kendiliğinden oluşamaz. LASER ışınları; eşit dalga boylu, eşit frekanslı, aynı fazlı ve aynı yönlü ışık demetleridir. Bu nedenle görünür ışığa göre daha tutarlıdır. LASER ışınları, aynı fazlı fotonlardan meydana geldiği için bir noktaya odaklanabilmektedir. Bu ışınlar, odaklı ışık demetleri olduğu için uzak mesafelere dağılmadan gidebilmektedir.



SİMÜLASYON 2 | Süre | 20 dk.

Simülasyonun Adı	LASER
Simülasyonun Amacı	LASER ışınının oluşumunu açıklayabilme.
Araç Gereç	Genel ağ bağlantısı olan bir cihaz, kâğıt, kalem.

Yönerge: Karekoddan yararlanarak simülasyona ulaşınız ve uygulama aşamalarını takip ederek simülasyonu gerçekleştiriniz. Simülasyonu tamamladıktan sonra "Simülasyonun Değerlendirmesi" bölümünde verilen soruları cevaplayınız.



! Uyarı: Simülasyon iki bölümden oluşmaktadır. Bu simülasyonda "Birden Fazla Atom (LASER dalgası yayınlayan)" kısmı uygulanacaktır!

Simülasyonun Uygulama Aşamaları

1. Kullandığınız ışığın rengine göre enerji seviyelerini (bir veya iki enerji seviyesi) ayarlayınız.
2. Lamba kontrolü kutusundan ışığın şiddetini ayarlayabilirsiniz.
3. Aynaları aktif hâle getirerek yansıtma yüzdesini ayarlayınız.
4. Farklı renk ve enerji seviyelerindeki ışıkları kullanarak uyarılmış ışıma yolu ile LASER ışını oluşturunuz.

Simülasyonun Değerlendirmesi

1. **Hangi şartlar altında LASER ışını elde edebildiniz?**

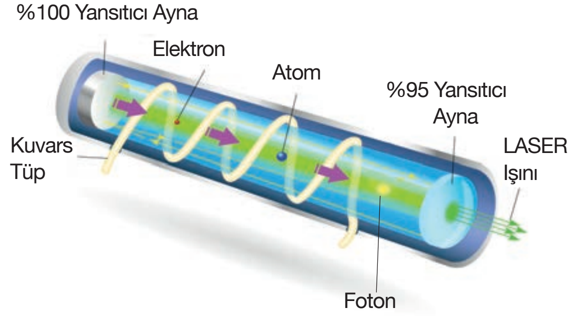
2. **Işık şiddeti, dalga boyu, yaşam süresi değişkenlerinin LASER ışını üzerindeki etkileri nasıldır?**

3. **Simülasyonu daha iyi hâle getirmek için ne gibi öneriler sunabilirsiniz?**

Yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine kendiliğinden geçen elektronlar normal ışık yayarken yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine uyarılarak geçen elektronlar aynı fazlı ışınlar yayınlamaktadır.

Şekil 6.4'te verilen LASER tüpünde LASER ışını üretmek için gereken 4 temel unsur şu şekilde sıralanabilir:

- Atomları kolayca uyarılabilen katı, sıvı veya gaz LASER ortamı
- Yüksek enerji seviyesindeki elektron sayısını artırmak için dışarıdan sürekli verilmesi gereken enerji
- Biri %100, diğeri %95 yansıtıcı olan ayna sistemi arasına yerleştirilen kuvars tüp
- Elde edilen LASER ışınını taşıyan fiber optik iletken



***Şekil 6.4:** LASER tüpü*

LASER ışını oluşturmak için gereken unsurlar bir araya getirildikten sonra yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine uyarılarak geçen elektronların yaydığı fotonlar, yansıtıcı aynalara çarparak atomları uyarır ve kendisi ile aynı özelliklere sahip fotonlar üretir. Aynalardan yansıyarak sayıları artan fotonlar, belli bir orana ulaştığında %95 yansıtıcı aynadan geçer ve LASER ışınını oluşturur.

LASER ışınının karakteristik özellikleri şunlardır:

- Aynı yönlü, eşit dalga boylu ve frekanslı ışıklardan meydana gelir.
- Belli bir yöne odaklandığından tutarlıdır.
- Kullanılan ışığın dalga boyuna bağlı olarak tek renklidir (monokromatik).
- Atmosferik doğa olaylarından (yağmur, kar, sis vb.) etkilenir.
- Normal şartlar altında sapma miktarı azdır.

UYGULAMA » 1

LASER ışınlarının elde edilişini açıklayınız.

6.5.2. LASER Işınının Kullanım Alanları

Günlük hayatta farklı alanlardan birçok üründe LASER teknolojisi kullanılmaktadır. LASER ışınlarının tıp, iletişim, endüstri, teknoloji ve savunma alanlarındaki kullanımlarından bazılarına aşağıda değinilmiştir.

Tıp Alanında LASER

LASER; kansız cerrahide, böbrek taşlarını yok etmede, kanser tanı ve tedavisinde, göz merceğindeki eğriliğin düzeltilmesinde, fiber optik endoskopla bağırsaklardaki ülserleri tespit etmede, karaciğer ve akciğer hastalıklarında, mikroorganizmaların ve hücrelerin iç yapısını incelemede, akne tedavisinde (Görsel 6.21) vb. kullanılmaktadır.



Görsel 6.21: LASER ışını ile akne tedavisi

İletişim Alanında LASER

LASER; fiber optik iletişimde, büyük mesafelerde düşük kayıpla bilgi gönderme uygulamasında, su altı haberleşme ağlarında, uzay iletişiminde, radarlarda ve uydularda kullanılmaktadır.



Görsel 6.22: LASER kesici

Endüstri Alanında LASER

LASER; kesme (Görsel 6.22), delme, lehimleme işlemlerinde; baskılı devre kartı ve mikroişlemci üretiminde kullanılmaktadır.

Teknoloji Alanında LASER

LASER; yazıcılarda, CD-ROM'larda, DVD-ROM'larda ve barkod okuyucu sistemlerinde kullanılmaktadır.

Savunma Alanında LASER

LASER, hedef saptamada ve mesafe ölçmede kullanılmaktadır.

Gösteri, Eğlence ve Reklam Alanlarında LASER

LASER, tarihî ve turistik mekânların silüetlerinin ışıklandırılmasında ve eğlence etkinliklerindeki lazerli ışık gösterilerinde kullanılmaktadır. Görsel 6.23'te İstanbul Boğazı'ndaki bir kutlamada kullanılan LASER ışınları görülmektedir.



Görsel 6.23: İstanbul Boğazı'ndaki kutlamalarda kullanılan LASER ışınları

UYGULAMA » 2

LASER ışınının farklı teknolojilerdeki kullanım alanlarına örnekler veriniz.

SORU 1

LASER ışınları ile ilgili

I. Uyarılmış emisyon yolu ile elde edilir.

II. Kullanılan ışın, dalga boyuna bağlı olarak tek renklidir.

III. Belli bir yöne odaklandığından tutarsızdır.

yargılarından hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

LASER ışınları, uyarılmış emisyon yolu ile elde edilir. I. yargı doğrudur.

Kullanılan ışın, dalga boyuna bağlı olarak tek renklidir (monokromatik). II. yargı doğrudur.

LASER ışınları, odaklı ve tutarlı ışınlardır. III. yargı yanlıştır.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerden doğru olanların karşısına "D", yanlış olanların karşısına "Y" yazınız.

1. Tıpta kullanılan en eski görüntüleme cihazlarından biri röntgen cihazıdır. ☐
2. Farklı alanlarda ayrıntılı tanılama yapılmasını sağlayan cihazlara görüntüleme cihazları denir. ☐
3. Güçlü elektrik alanı üreten MR cihazları, canlıların organ ve dokularını görüntülemek için kullanılır. ☐
4. PET taraması; kanser, kalp rahatsızlıkları ve beyin bozuklukları dâhil olmak üzere çeşitli hastalıkların belirlenmesine yardımcı olmaktadır. ☐
5. Bilgisayarlı tomografide morötesi ışınlar kullanılır. ☐
6. İnsan kulağı, 20 Hz ile 200 000 Hz arasındaki ses frekanslarını duyabilmektedir. ☐
7. Radar tarafından yayınlanan radyo dalgaları, bir cisme çarpıp dönerek cismin hızını belirlemektedir. ☐
8. Sonar cihazlarında üretilen radyo dalgalarının nesnelerden yansıması sonucunda cismin mesafesi hakkında bilgi edinilmektedir. ☐
9. Termal kamera; kızılötesi verileri, ölçülen nesnenin yüzey sıcaklığını gösteren elektronik bir görüntüye dönüştürür. ☐
10. İki farklı erime noktasına sahip maddeler, sıvı kristal madde olarak adlandırılmaktadır. ☐
11. Plazma ekranlar, LCD ekranlara göre daha parlaktır ve daha düşük yenileme hızına sahiptir. ☐
12. Elektriksel olarak iletkenler ile yalıtkanlar arasında bulunan maddelere yarı iletkenler denir. ☐
13. Diyot, transistör, LED ve güneş pili yarı iletkenlerden imal edilen devre elemanlarıdır. ☐
14. Diyotlar, alternatif akımı doğru akıma çevirmek için kullanılır. ☐
15. Yüklü temel parçacık demetlerini elektrik alanının yardımıyla hızlandıran ve manyetik alanın yardımı ile bir arada tutan gelişmiş sistemlere parçacık hızlandırıcı denir. ☐

Aşağıdaki açık uçlu soruları cevaplayınız.

16. **Röntgen cihazının çalışma prensibini açıklayınız.**

17. **MR cihazının çalışma prensibini açıklayınız.**

18. **PET taraması hangi hastalıkların teşhis ve tedavisinde kullanılmaktadır?**

19. **Ultrason cihazının etkili olmadığı organlar hangileridir? Nedenleri ile açıklayınız.**

20. **Tomografi cihazının çalışma prensibini açıklayınız.**

21. **Sonar cihazının kullanım alanlarına örnekler veriniz.**

22. **Radar cihazının kullanım alanlarına örnekler veriniz.**

23. **Termal kameraların çalışma prensibini açıklayınız.**

24. **LCD ve plazma teknolojilerini üstün yönleri bakımından karşılaştırınız.**

25. **MR, röntgen, tomografi, PET ve ultrason cihazlarından hangileri canlı dokular için zararlı olabilmektedir?**

26. **LASER ışınlarının tıptaki kullanım alanları nelerdir?**

27. **Yarı iletkenlerden üretilen devre elemanları nelerdir?**

28. **MAGLEV trenlerinin çalışma prensibini açıklayınız.**

29. **Parçacık hızlandırıcılardan elde edilen verilerin kullanıldığı alanlar nelerdir?**

Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

30. **Röntgen cihazı ile ilgili**

I. X ışınlarını kullanır.
II. Canlı dokular için zararlıdır.
III. Yumuşak dokuları görüntülemek için kullanılır.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I ve II **E)** I, II ve III

31. **MR cihazı ile ilgili**

I. Mikrodalgaları kullanır.
II. Yumuşak dokuları görüntülemek için kullanılır.
III. Canlı dokular için zararlı değildir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

32. I. Ultrason
II. MR
III. Tomografi

Yukarıda verilen görüntüleme cihazlarından hangileri temelde X ışınlarını kullanır?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I ve III **E)** I, II ve III

33. **PET cihazı ile ilgili**

I. Doku ve organların metabolik veya biyokimyasal işlevini ortaya çıkarır.
II. Tarama yapılmadan önce hastaya damar içi radyoaktif madde enjekte edilir.
III. BT veya MR taramalarında ortaya çıkmayan metabolik anormallikler görüntülenebilmektedir.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I ve III **E)** I, II ve III

34. I. MR
II. Termal Kamera
III. Sonar
IV. Ultrason
V. Radar

Yukarıdaki sistemlerden hangileri dalgaların yansıması ilkesi ile çalışır?

A) Yalnız I **B)** I ve IV **C)** II ve III **D)** I ve III **E)** I, III, IV ve V

35. Piksellerinde bulunan neon ve xenon gazları, elektrik akımının etkisi ile ışık yayar ve piksellerdeki ışıklar birleşerek görüntüyü meydana getirir.

Parçada verilen çalışma prensibi aşağıdaki teknolojilerden hangisine aittir?

A) LCD **B)** LED **C)** Plazma
D) Termal kamera **E)** Diyot

36. Termal kameralarla ilgili
I. Kızılötesi ışınları kullanır.
II. Morötesi ışınları kullanır.
III. Askerî ve sivil güvenlik alanlarında kullanılır.
yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

37. I. Televizyon
II. Dijital kamera
III. Cep telefonu

Yukarıda verilen cihazlardan hangilerinde LCD teknolojisi kullanılmıştır?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

38. Yarı iletkenlerle ilgili
I. Normal şartlar altında iletkendir.
II. Dışarıdan ısı, ışık, manyetik etki veya gerilim altında bırakıldığında iletken hâle geçebilmektedir.
III. Demir ve bakır yarı iletkendir.
yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

39. Diyot ve transistörlerle ilgili
I. Yarı iletkenlerden yapılmışlardır.
II. P-N eklemlerinin birleşmesi ile oluşurlar.
III. Diyot 2 eklemli, transistör 3 eklemlidir.
yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

40. Maddenin soğutularak süper iletkene dönüştüğü sıcaklık değerinin ismi aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

A) Mutlak sıcaklık **B)** Mutlak sıfır sıcaklığı
C) Denge sıcaklığı **D)** Kritik sıcaklık
E) Hâl değişim sıcaklığı

41. LED'lerle ilgili
I. Az enerji ile çalışır.
II. Kısa ömürlüdür.
III. Yarı iletkenlerden üretilmiştir.
yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

42. Güneş pilleri ile ilgili
I. P-N eklemlerinin üst üste konması ile elde edilir.
II. Haberleşme, deniz fenerleri, petrol boru hatları ve güvenlik kameralarında kullanılır.
III. Fotovoltaik hücrelerden meydana gelmektedir.
yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

43. I. MR cihazı
II. Ultrason
III. Parçacık hızlandırıcı

Yukarıda verilen sistemlerden hangilerinde süper iletkenler kullanılır?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

44. I. Geko kertenkelesinin ayaklarındaki tüyler
II. Lotus çiçeğinin kir tutmaması
III. Örümcek ağlarının sağlamlığı

Yukarıda verilenlerden hangileri doğal nanoyapılara örnek gösterilebilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

45. LASER ışınları ile ilgili
I. Farklı dalga boylu ışınlardan oluşur.
II. Tutarlı ışınlardır.
III. Kar, yağmur vb. doğa olaylarından etkilenir.
yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) II ve III **E)** I, II ve III

46. Parçacık hızlandırıcılar ile ilgili
I. Yapısında süper iletkenler kullanılır.
II. Sadece manyetik alanı kullanır.
III. Elde edilen veriler sadece atom fiziği alanında kullanılır.
ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve II **E)** I, II ve III



Karekodda verilen bulmacaları çözünüz.

FİZİKTE KULLANILAN SABİTLER

Nicelik	Sembol	Büyüklük
Boşlukta ışık hızı	c	$2,99792458 \cdot 10^{8}$ m/s
Elektronun yükü	q_e	$1,6 \cdot 10^{-19}$ C
Evrensel çekim sabiti	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ N · m^2/kg^2
Protonun kütlesi	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27}$ kg
Planck sabiti	h	$6,62607015 \cdot 10^{-34}$ J · s
Compton dalga boyu	λ_c	0,024 Å

Sembol	Açılımı	Sembol	Açılımı
α	Alfa	μ	Mü
β	Beta	υ	Nü
Δ	Delta	ω	Omega
ε	Epsilon	π	Pi
ϕ	Fi	ρ	Ro
γ	Gama	Σ	Sigma
λ	Lamda	θ	Teta

UZUNLUK BİRİMLERİ

Birimi	Sembolü	Metre Cinsinden Değeri
1 angstrom	Å	10^{-10} m
1 mikron	μ	10^{-6} m
1 milimetre	mm	10^{-3} m
1 santimetre	cm	10^{-2} m
1 desimetre	dm	10^{-1} m

Birimi	Sembolü	Metre Cinsinden Değeri
1 metre	m	10^{0} m
1 dekametre	dam	10^{1} m
1 hektometre	hm	10^{2} m
1 kilometre	km	10^{3} m
1 megametre	Mm	10^{6} m

BİRİMLERİN STANDART SEMBOLLERİ

Sembol	Açılımı
lm	lümen
lx	lüks
MeV	megaelektronvolt
m	metre
N	newton
h	saat
s	saniye
^{0}C	derece celsius
T	tesla
V	volt
W	watt
Wb	weber
j	joule

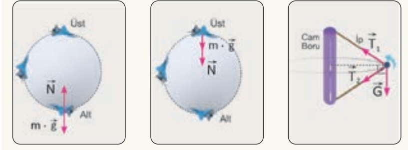
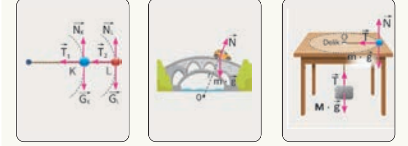
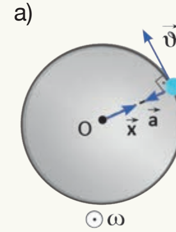
BÜYÜKLÜKLERİN SEMBOLLERİ

Ön Ek	Sembol	Büyüklük (Çarpan)
Piko	p	10^{-12}
Nano	n	10^{-9}
Mikro	μ	10^{-6}
Mili	m	10^{-3}
Santi	c	10^{-2}
Desi	d	10^{-1}
Deka	da	10^{1}
Hekto	h	10^{2}
Kilo	k	10^{3}
Mega	M	10^{6}
Giga	G	10^{9}

UYGULAMA CEVAP ANAHTARLARI

1. ÜNİTE 1. BÖLÜM

UYGULAMA 1	**Beton mikseri:** Dönme **Gezegenler:** Dönme ve öteleme **Saat:** Dönme **Zincir salıncak:** Dönme **Salıncak:** Titreşim **Metronom:** Titreşim **Balon:** Öteleme **Testere:** Dönme
UYGULAMA 2	Olası periyot değerleri 0,9 s ve 1,8 s'dir. Olası frekans değerleri ise 10/9 s^{-1} ve 5/9 s^{-1}dir.
UYGULAMA 3	a) 2/3 b) 4/9
UYGULAMA 4	a)
	b) $a_1 = a_2 = 1/2$ m/s^2
UYGULAMA 5	a) T = 1/20 s f = 20 s^{-1} b) ω = 120 rad/s Yön = Sayfa düzleminden içeriye doğrudur. ⊗
	c) ϑ = 72 m/s ç) a = 8640m/s^2
UYGULAMA 6	$\vartheta = \sqrt{g \cdot r \cdot \tan\theta}$ $\omega = \sqrt{\frac{g \cdot \tan\theta}{r}}$
UYGULAMA 7	$F_K / F_L = 3/2$
UYGULAMA 8	Parabolik uçuş, uzaya çıkacak astronotların eğitimi ve uzay görevlerinde kullanılacak malzemelerin dayanıklılığının test edilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Uçağın belirli bir açıyla yükselip alçalması şeklinde gerçekleşen parabolik uçuşlarla yer çekimsiz ya da yer çekiminin en aza indirildiği ortamların bir simülasyonu oluşturulmaya çalışılmaktadır.

UYGULAMA 9	 
UYGULAMA 10	a) 
	b) ω = 10 rad/s ϑ = 20 m/s
	c) a = 200 m/s^2 T = 400 N ç) K ve N noktaları d) L, M ve P noktaları e) 20 m f) 21/19 g) $2\sqrt{2}$ m ğ) 40 m/s
UYGULAMA 11	20 m
UYGULAMA 12	400/3 m
UYGULAMA 13	20 tur Silindirin açısal hızı artırıldığında cisim denge durumunu korumaya devam eder.
UYGULAMA 14	a) 1/1800 s^{-1} b) ω = 1/300 rad/s ϑ = 0,4 m/s c) 1/750 m/s^2 ç) 750,1 N
UYGULAMA 15	a) $T_{saniye} = T$ $T_{yelkovan} = 60\,T$ $T_{akrep} = 720\,T$ b) $\omega_{akrep} = \omega$ $\omega_{yelkovan} = 12\,\omega$ $\omega_{saniye} = 720\,\omega$
	c) $\vartheta_{akrep} = \vartheta$ $\vartheta_{yelkovan} = 24\vartheta$ $\vartheta_{saniye} = 1440\vartheta$ ç) $a_{akrep} = a$ $a_{yelkovan} = 288a$

UYGULAMA CEVAP ANAHTARLARI

1. ÜNİTE 2. BÖLÜM

UYGULAMA 1 İtilen kutu öteleme, sabit makara dönme, yatay yolda hareket eden bir arabanın tekerleği hem öteleme hem de dönme hareketi yapar.

UYGULAMA 2 Eylemsizlik momenti doğru hesaplanmadığında geminin yapısal bütünlüğünde bozulmalar görülebilmektedir.

UYGULAMA 3 $E_z > E_y > E_x$

1. ÜNİTE 3. BÖLÜM

UYGULAMA 1 Güneş sistemindeki gezegenlerin Güneş'e olan uzaklıkları ile çizgisel hızları arasındaki ilişkiyi açıklamak için açısal momentum kavramı kullanılır.

UYGULAMA 2 Hortumun yere yakın kısmının yarıçapı dardır ve bu kısım yüksek hızla döner. Yerden yukarı doğru yarıçap genişler ve hız düşer.

UYGULAMA 3

UYGULAMA 4

UYGULAMA 5 Açısal hız ve eylemsizlik momenti

UYGULAMA 6 Açısal hız, yarıçapa bağlı olmadığından değişmez. Eylemsizlik momenti, yarıçapa bağlı olduğundan ve yarıçap arttığından artar. Açısal hız sabit kalırken eylemsizlik momentinin artmasından dolayı açısal momentum artar.

1. ÜNİTE 4. BÖLÜM

UYGULAMA 1 Kütle, hacim ile özkütlenin çarpımına eşittir. Hacmi sabit olduğundan ve özkütlesi artırıldığından gezegenin kütlesi artar. Kütle çekim kuvveti, gezegenin kütlesi ile doğru orantılı olarak değişir. Bu yüzden yeni kütle çekim kuvveti F değerinden daha büyük olur.

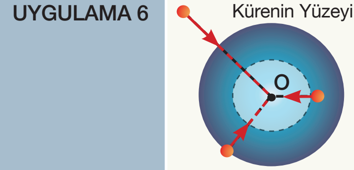
UYGULAMA 2 III ve IV

UYGULAMA 3 Kütle çekim kuvveti, kütleye bağlı olduğundan azalır. Uydunun çizgisel hızı, kütleye bağlı olmadığından değişmez.

UYGULAMA 4 Gezegenlerin m/r^2 oranları farklı olduğundan yüzeylerindeki yer çekim ivmeleri de farklıdır.

UYGULAMA 5
1. Yer çekimi ivmesi farklı değerler alır.
2. Ağırlığınız daha fazla olur.
3. Ağırlık aynı değerde olmaz.
4. Kutuplar ile Ekvator arasında ağırlık farkı çok fazla olur.

UYGULAMA 6



UYGULAMA 7 Her iki enerji bağıntısının başında (-) işareti vardır. Bundan dolayı kütle veya yüklerin birbirine göre hareketi enerji değerlerini aynı yönde değiştirir.

UYGULAMA 8 Kütle çekim potansiyel enerjisi, Dünya'nın merkezine yaklaşıldıkça negatif değerde artış gösterir. Bu yüzden L cismi, K cismine göre Dünya'nın merkezine daha yakındır.

UYGULAMA 9 Kurtulma hızı, gezegenin kütlesine ve yarıçapına bağlı olarak değişiklik gösterir. Jüpiter'in kütlesinin yarıçapının karesine oranı Mars'a göre daha büyüktür. Bu nedenle Jüpiter'den kurtulma hızı daha fazladır.

UYGULAMA 10

	Kurtulma Enerjisi	Bağlanma Enerjisi
1.	Gezegenin yüzeyi	Gezegenin dışı
2.	Gezegenin yüzeyinden sonsuza göndermek	Gezegenin yörüngesinden sonsuza göndermek
3.	Pozitif	Pozitif
4.	Sıfıra yaklaşır.	Sıfıra yaklaşır.

1. ÜNİTE 5. BÖLÜM

UYGULAMA 3
1. Merkür (En yakın gezegen)
2. Neptün (En uzak gezegen)
3. Neptün (En uzak gezegen)

2. ÜNİTE 1. BÖLÜM

UYGULAMA 1 Sürtünmeler ihmal edildiğinde Kuzey Kutbu'ndan bırakılan cisme etki eden yer çekimi kuvveti kutuptan merkeze doğru azaldığından cisim, kutuplar arasında basit harmonik hareket yapar.

UYGULAMA 2	Basit harmonik harekettir.
UYGULAMA 3	a)18 s b) 1/18 s^{-1} c) 21 s
UYGULAMA 4	
UYGULAMA 5	
UYGULAMA 6	a) 0,105 m/s b) 0,216 N c) 0,108 m/s^2
UYGULAMA 7	a) T = 1 s b) a = 144 m/s^2 c) $\vartheta = 6\sqrt{15}$ m/s
UYGULAMA 8	1
UYGULAMA 9	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{3k}}$
UYGULAMA 10	13 s

3. ÜNİTE 1. BÖLÜM

UYGULAMA 1	
UYGULAMA 2	I ve II
UYGULAMA 3	II ve III
UYGULAMA 4	I ve II
UYGULAMA 5	Mavi, cyan, siyah
UYGULAMA 6	Yeşil ışıkla yapılan deneyde perde ile yarık arası uzaklık artırılmış veya yarıklar arası mesafe azaltılmıştır.
UYGULAMA 7	I. Aşağı kayar. II. Aynı yerde kalır. III. Aşağı kayar. IV. Aynı yerde kalır. V. Aynı yerde kalır. VI.Tam bir bilgi verilemez.
UYGULAMA 8	1. Azaltılmalı. 2. Artırılmalı.
UYGULAMA 9	Yalnız I
UYGULAMA 10	1. Işığın kırınımı (dalga doğası) 2. Işığın kırınımı (dalga doğası)
UYGULAMA 11	I. Ses kaynağına yaklaşıldığından yüksek frekanslı ses II. Ses kaynağıyla mesafe korunduğundan aynı frekansta ses III. Ses kaynağından uzaklaşıldığından düşük frekanslı ses

3. ÜNİTE 2. BÖLÜM

UYGULAMA 1	I. +z II. −y III. −x
UYGULAMA 2	1. D, 2. Y, 3. Y, 4. D, 5. Y 6. Y, 7. D, 8. Y, 9. D
UYGULAMA 3	M
UYGULAMA 4	1. Kızılötesi ışın 2. Mikrodalga, radyo dalgaları 3. X ışınları 4. Gama ışınları 5. Morötesi ışınlar 6. Radyo dalgaları 7. Görünür ışınlar

4. ÜNİTE 1. BÖLÜM

UYGULAMA 1	a) Rutherford b) Dalton c) Demokritos ç) Thomson c-b-ç-a
UYGULAMA 3	I. Milikan'ın Deneyi II. Milikan'ın Deneyi III. Thomson'ın Deneyi IV. Thomson'ın Deneyi V. Thomson'ın Deneyi VI. Milikan'ın Deneyi
UYGULAMA 4	1. Boşluklu 2. Çekirdek 3. Güneş 4. Merkezinde

UYGULAMA CEVAP ANAHTARLARI

UYGULAMA 5	a) Artar. b) Artar. c) Artar.
UYGULAMA 6	a) $L_K > L_L = L_M$ b) $E_M > E_L > E_K$
UYGULAMA 8	a) Farklılık, her elementin uyarılma enerji seviyelerinin farklı olmasından kaynaklanır. b) Uyarılma durumunda dışarıya foton yayınlanacağından atomların mekanik enerjisi korunmaz. Bu çarpışma şekli, esnek olmayan çarpışmada görülür.
UYGULAMA 9	a) 5 eV ve 9 eV b) 8,90 eV, 4,04 eV, 2,23 eV, 0,06 eV c)
UYGULAMA 10	I ve III
UYGULAMA 11	a) Atom kesinlikle uyarılır. b) Atomun uyarılma ihtimali vardır ancak atom kesinlikle uyarılır denemez.

4. ÜNİTE 2. BÖLÜM

UYGULAMA 1

UYGULAMA 2

UYGULAMA 3

F_1 kuvveti: Güçlü nükleer kuvvet
F_2 kuvveti: Kütle çekim kuvveti
F_3 kuvveti: Zayıf nükleer kuvvet
F_4 kuvveti: Elektromanyetik kuvvet

	F_1 Kuvveti	F_2 Kuvveti	F_3 Kuvveti	F_4 Kuvveti
En Şiddetli Kuvvet	✓			
Menzili Sonsuz Sayılan İki Kuvvet		✓		✓
Kuvvetlerin Taşıyıcı Parçacıkları	Gluon	Graviton	$W^{\pm}$ ve Z^0 Bozonu	Foton

UYGULAMA 4	a) 1: Kuarklar b) Mezon c) 8: Molekül ç) 6 ve 7
UYGULAMA 5	Madde ve antimaddenin yük büyüklüğü, spini ve kütlesi eşittir fakat yük işaretleri zıttır. Antimadde üzeri çizgili olarak gösterilir.
UYGULAMA 6	II ve IV

4. ÜNİTE 3. BÖLÜM

UYGULAMA 1	a) X elementi daha kararlıdır. Y elementinde nötron protona dönüşmelidir. b) Y elementi daha kararlıdır. X elementinde proton nötrona dönüşmelidir. c) X elementi daha kararlıdır. Y elementinde proton nötrona dönüşmelidir.
UYGULAMA 2	Atom numarası 84, kütle numarası 226'dır. Elementin enerjisi azalır.
UYGULAMA 3	1: Beta parçacığı 2: Alfa parçacığı 3: Gama ışını
UYGULAMA 4	a) 1: Alfa ışıması 2: Beta (-) ışıması 3: Alfa ışıması 4: Beta (+) ışıması b) 3 tane alfa ışıması, 2 tane beta (-) ışıması, 1 tane beta (+) ışıması yapılmıştır. c) Tüm aralıklarda gama ışıması yapması mümkündür.
UYGULAMA 5	a) Kütle numarası 98, atom numarası 52'dir (nükleer fisyon). b) 2 nötrondur (nükleer fisyon). c) Atom numarası 2'dir (nükleer füzyon).

UYGULAMA CEVAP ANAHTARLARI

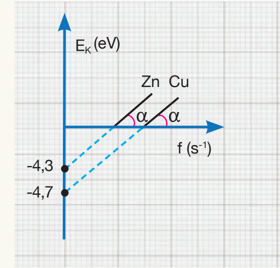
5. ÜNİTE 1. BÖLÜM

UYGULAMA 1	Yalnız III
UYGULAMA 2	$\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta_3$
UYGULAMA 3	Işık hızının ölçülen değeri, gözlemcinin ya da ışık kaynağının hareketinden bağımsızdır. Bu yüzden Einstein, ne kadar hızlanırsa hızlansın aynada yine kendisini görecektir.
UYGULAMA 4	Astronotlar, maaş hesaplarında beklentilerinin üzerinde bir birikimle karşılaşacaktır.
UYGULAMA 5	II, III ve IV
UYGULAMA 6	I ve II

5. ÜNİTE 2. BÖLÜM

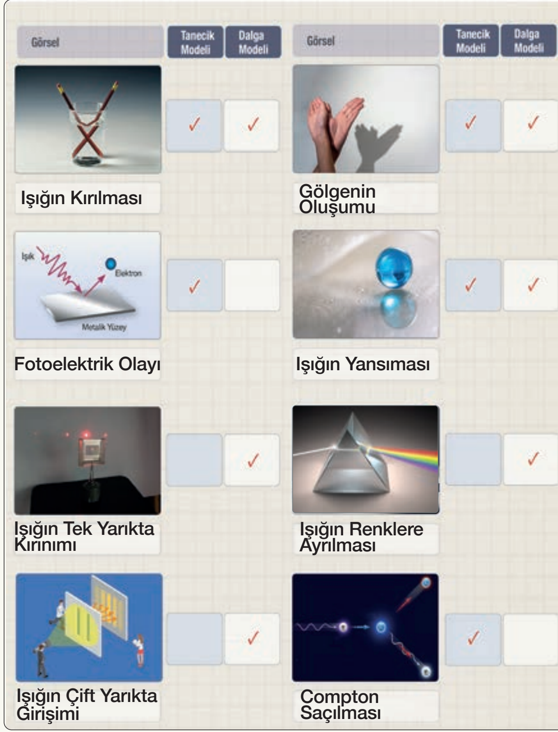
UYGULAMA 1	II ve III
UYGULAMA 2	$\lambda_{Betelgeuse} > \lambda_{Güneş} > \lambda_{Sirius}$
UYGULAMA 3	a) Aslı, Yamaç ve Özgü
	b) Işıma Şiddeti; Kor Hâlinde; Oda Sıcaklığında; Dalga Boyu
UYGULAMA 4	I ve III

5. ÜNİTE 3. BÖLÜM

UYGULAMA 1	Atomların fotonlarla uyarılmasında foton soğrulur. Soğrulan fotonun tüm enerjisini atoma vermesi gerekir. Bu yüzden enerjisi, atomun enerji seviyelerinden birine eşit olmayan bir foton atom ile etkileşemez.
UYGULAMA 2	Yalnız III
UYGULAMA 3	Yalnız I
UYGULAMA 4	IV ve V
UYGULAMA 5	a) Işığın yüzeyden elektron sökmesidir. b) Cam mercekler yalnızca görünür ışığı geçirirken kuvars mercekler morötesi ışınları da geçirir. c) Morötesi ışınlar elde edilemeyeceği için fotoelektrik olayının gerçekleşmeme ihtimali ortaya çıkar. ç) Platin dışındaki tüm metallerden elektron sökülebilirdi. d) Fotoelektrik olayda bir foton ancak bir elektron sökebilir. Çünkü foton bu olayda soğrulur. e) 3, 69 eV
UYGULAMA 6	a) $1,04 \cdot 10^{15}\ s^{-1}$
	b) 
	c) Hangi metal seçilirse seçilsin grafiğin eğimi h Planck sabitini vereceği için eğimler eşit olacaktır.
	ç) $\lambda_{Th} > \lambda_{cd} > \lambda_{Zn} > \lambda_{Cu} > \lambda_{Au}$
	d) Toryum
UYGULAMA 7	7,9 eV
UYGULAMA 8	8 V
UYGULAMA 9	a) $I_K > I_L = I_M$ b) $\lambda_M > \lambda_K = \lambda_L$ c) $f_K = f_L > f_M$
UYGULAMA 10	a) 1550 Å b) 6,3 eV c) 3,3 V
UYGULAMA 11	I ve II
UYGULAMA 12	a) $n_L > n_K = n_M$ b) $E_K > E_M > E_L$

5. ÜNİTE 4. BÖLÜM

UYGULAMA 1	I ve III
UYGULAMA 2	I, II ve III
UYGULAMA 3	Yalnız II
UYGULAMA 4	



Görsel	Tanecik Modeli	Dalga Modeli	Görsel	Tanecik Modeli	Dalga Modeli
Işığın Kırılması	✓	✓	Gölgenin Oluşumu	✓	✓
Fotoelektrik Olayı	✓		Işığın Yansıması	✓	✓
Işığın Tek Yarıkta Kırınımı		✓	Işığın Renklere Ayrılması		✓
Işığın Çift Yarıkta Girişimi		✓	Compton Saçılması	✓	

6. ÜNİTE 1. BÖLÜM

UYGULAMA 1	Röntgen ve tomografi cihazları, X ışınlarını kullanır. Tomografi cihazı röntgen cihazına göre daha yüksek çözünürlüğe sahip ve daha ayrıntılı görüntüleme yapmaktadır.
UYGULAMA 2	Sonar ve radar cihazları dalgaların yansıma ilkesine göre çalışmaktadır. Sonar cihazları ses dalgalarını, radar cihazları radyo ve mikrodalgaları kullanmaktadır.

UYGULAMA 3

Görüntüleme Cihazı	Yapımında ve Kullanımında Temel Alınan Fizik Yasa ve İlkeleri	Kullanım Alanları	Avantaj ve Dezavantajları
Röntgen	X ışınlarının kırınıma uğraması	Tıp	Düşük maliyetlidir.
MR	Radyo dalgalarının yansıması	Tıp	Canlı dokulara zararlıdır.
Bilgisayarlı Tomografi	X ışınlarının kırınıma uğraması	Tıp	Canlı dokulara zararlıdır.
PET	Pozitron emisyonu	Tıp	İçinde hava olan organların görüntülenmesi için uygun değildir.
Ultrason	Ses dalgalarının yansıması	Tıp	Düşük maliyetlidir.
Radar	Radyo ve mikrodalgaların yansıması	Askerî, sivil	Kullanım alanı geniştir.
Sonar	Ses dalgalarının yansıması	Denizcilik	Canlı dokulara zararlı değildir.
Termal Kamera	Kızılötesi ışınlardan elde edilen verileri görüntüye çevirme	Askerî, mühendislik, tıp	Radyasyon miktarı azdır.

UYGULAMA 4	LCD, sıvı kristallerin kullanılması ile yapılmıştır. Plazma ise iyonize olmuş gazların yaydığı ışığı kullanmaktadır.

6. ÜNİTE 2. BÖLÜM

UYGULAMA 1	Yarı iletkenler, normal şartlar altında yalıtkan maddelerdir. Dışarıdan ısı, ışık, manyetik etki veya gerilim altında bırakıldıklarında iletken hâle geçebilmektedir. Dışarıdan etki uygulanarak geçici iletkenlik kazanan yarı iletken malzemeler, dış etki kaldırıldığında yalıtkan hâle dönmektedir.

UYGULAMA 2	Yarı iletkenlerden yapılan transistörler, günümüzde kullanılan elektronik cihazların en temel bileşenlerinden biridir. Diyotlar, alternatif akımı doğru akıma çevirmekten devre sinyallerini ayrıştırmaya kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır.
UYGULAMA 3	LED'ler ekranlardan mekân aydınlatmasına, araç farlarından kumandalara kadar birçok alanda kullanılmaktadır.
UYGULAMA 4	Güneş pilleri, P-N eklemlerinin üst üste konması ile elde edilir. Eklemlerin üzerine düşen ışığın, fotoelektrik olayı sonucunda, elektron koparması ile N ekleminden P eklemine doğru elektron geçişi olur. Güneş pilleri; haberleşme, deniz fenerleri, petrol boru hatları, güvenlik kameraları, elektrik dağıtımı, su dağıtımı, meteoroloji istasyonları, alarmlar, tarımsal sulama sistemleri vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

6. ÜNİTE 3. BÖLÜM

UYGULAMA 1	Kritik sıcaklıkta ve altında madde elektriksel direnç göstermemektedir. Süper iletkenler diyamanyetik özellik sergilemektedir. İletkenlerin normal şartlarda elektriksel direnci vardır.
UYGULAMA 2	Süper iletkenler; MAGLEV trenleri, parçacık hızlandırıcılar, MR cihazlarında kullanılmaktadır.

6. ÜNİTE 4. BÖLÜM

UYGULAMA 1	Nanobilim, boyutları 1 ila 100 nanometre arasında olan maddelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini incelemektedir.
UYGULAMA 2	Fizik bilimi ile nanobilim ve nanoteknoloji arasında yakın bir ilişki vardır. Fizikteki gelişmeler, nanoteknolojiyi etkilerken nanoteknolojideki gelişmeler de fizik bilimine katkı sunmaktadır. Örneğin geko kertenkelesinin ayak yapısı kullanılarak geko yapıştırıcısı üretilmiştir.
UYGULAMA 3	Kelebeklerin kanatlarındaki renkli bölgeler de nanoyapılar tarafından oluşturulmaktadır. Örümcek ağlarının sağlamlığı, ham maddesi aynı olmasına rağmen yünün şekerden daha sağlam olması, lotus çiçeğinin kendini temizleme özelliği nanoyapılarla açıklanmaktadır.
UYGULAMA 4	Büyük boyutlu yapılara nazaran nanoteknoloji ile üretilen nanomalzemeler yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahiptir.

6. ÜNİTE 5. BÖLÜM

UYGULAMA 1	LASER ışını oluşturmak için gereken unsurlar bir araya getirildikten sonra yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine uyarılarak geçen elektronların yaydığı fotonlar, yansıtıcı aynalara çarparak atomları uyarır ve kendisi ile aynı özelliklere sahip fotonlar üretir. Aynalardan yansıyarak sayıları artan fotonlar, belli bir orana ulaştığında %95 yansıtıcı aynadan geçer ve LASER ışınını oluşturur.
UYGULAMA 2	LASER, hedef saptamada ve mesafe ölçmede kullanılmaktadır. LASER; kesme, delme, lehimleme işlemlerinde, baskılı devre kartı ve mikroişlemci üretiminde kullanılmaktadır.

1. ÜNİTE

1	2	3	4	5	6	7	8
Y	D	Y	D	Y	Y	D	D

9	10	11	12	13	14	15	
Y	D	D	Y	D	Y	D	

16. $\vartheta = 2$ m/s

$a = 1$ m/s^2

17. Yarışçı, 35 m yarıçaplı virajı güvenle geçer, 25 m yarıçaplı virajda savrulur.

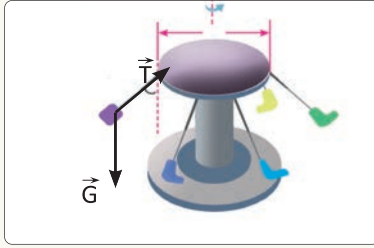
18. a) $\omega_K = \omega_L = \omega_M > \omega_N$

b) Açısal hızın yönü, tüm kasnaklarda sayfa düzleminden içeriye doğrudur.

c) 1

ç) 5/3

19. a)



b) Açısal hız vektörünün yönü, yukarıya doğru $\sqrt{5/2}$ rad/s olur.

c) $3\sqrt{5}$ m/s

d) Değişmez.

ç) 400 N

e) Gerilme kuvveti ve açı artar.

20. a) $N_{ALT} = F_m + m \cdot g$

b) $N_{ÜST} = F_m - m \cdot g$

c) $F = m \cdot g$ olursa tepki kuvveti sıfır olur. Tepki kuvvetinin sıfır olabilmesi için merkezcil kuvvetin (F) azaltılması gerekir. Bu durumda uçağın hızı azaltılmalı veya uçağın izlediği yörünge yarıçapı artırılmalıdır.

21. Jant boyutu ile aracın ivmesi ters orantılıdır.

24.

	Açısal Momentum	Çizgisel Momentum
Sembol	L	P
Birim	kg · m²/s	kg · m/s
Matematiksel Model	$L = P \cdot r$	$P = m \cdot \vartheta$
Vektörel/ Skaler	Vektörel	Vektörel
Günlük Hayattan Örnek	Hareket eden dönme dolap	Yatay düzlemde kayan kutu

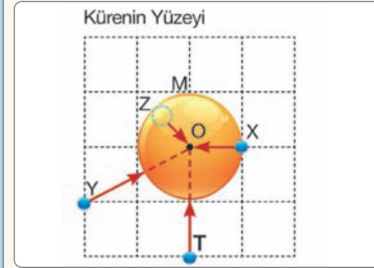
25. Tork ve açısal ivme değişmez. Açısal hız ve açısal momentum artar.

26. a) Halley Kuyruklu Yıldızı'na dışarıdan bir tork uygulanmadığından kuyruklu yıldızın açısal momentumu korunur. Güneş'e yaklaştıkça Halley Kuyruklu Yıldızı'nın çizgisel hızı artar. Açısal momentum korunduğundan açısal ivme sıfırdır. Açısal ivme sıfır olduğundan açısal hız sabittir.

b) Güneş'e yaklaştıkça artan çekim kuvveti ve radyasyon sayesinde Halley'in kuyruk kısmı uzar. Güneş rüzgarlarının etkisiyle ve açısal momentumun korunumundan dolayı Halley Kuyruklu Yıldızı'nın kuyruk yönü her zaman Güneş'in aksi istikametindedir.

28. Yer çekimi ivmesi, Dünya'nın kütlesi ile doğru, yarıçapı (karesi) ile ters orantılı değişir.

29.



33. a) Azalır. b) Azalır. c) Azalır.

34	35	36	37	38	39	40	41	42
E	A	C	B	B	A	D	B	D

43	44	45	46	47	48	49	50	51
A	C	E	E	D	B	C	E	C

52	53	54	55	56	57	58		
D	E	E	B	D	A	B		

2. ÜNİTE

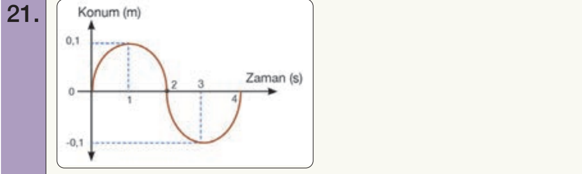
1	2	3	4	5	6	7	8
D	Y	D	D	Y	D	Y	D

9	10	11	12	13	14	15	
Y	D	Y	D	Y	Y	D	

16. III ve IV

17. Cismin denge konumundan ayrılma miktarı, cisme etki eden kuvvet ile doğru orantılı olmalıdır. Cismin ivmesi, yer değiştirmesi ile doğru orantılı olmalıdır. Cismin ivmesinin yönü, denge konumuna doğru olmalıdır. Toplam enerjinin korunması gerektiğinden sürtünmeler ihmal edilmelidir.

18.

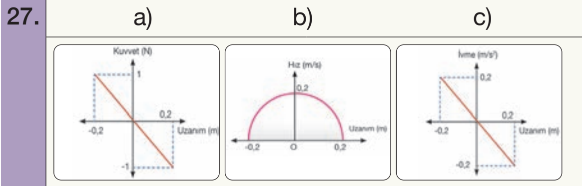


19.

T = 16 s	a = 9/32 m/s²
f = 1/16 s^{-1}	F = 9/64 N
r = 2 m	ϑ = 3/4 m/s

20. Basit harmonik harekette enerji korunurken salınım hareketinde enerjinin korunması gerekli değildir.

21.



22. Yay sarkacının periyodu artar, basit sarkacın değişmez.

23. II ve III

24. Yay sarkacının periyodu değişmez, basit sarkacın periyodu azalır.

25. Sarkaç kol boyunun uzatılması periyodu artırır. Bu yüzden saat, normal zamana göre geri kalır.

26. 10/9 m

27. a) b) c)

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
D	D	B	D	C	E	C	B	C	A	A

3. ÜNİTE

1	2	3	4	5	6	7	8
Y	Y	D	D	Y	D	Y	D

9	10	11	12	13	14	15	
Y	D	D	Y	Y	Y	D	

16.

17. a) A = Aras, B = Öykü, C = Özgü
b) A takozu kaldırılarak bölgedeki su derinliği artırılabilir.

23. A: Kırmızı, B: Mavi

24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
A	D	D	E	A	D	A	C	B	E

34	35	36	37	38	39	40	41	42	
E	B	D	B	C	D	A	C	E	

4. ÜNİTE

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Y	D	D	D	D	Y	D	D	Y

10	11	12	13	14	15	16	17	
Y	D	Y	Y	Y	D	Y	D	

21. a) Artar. b) Artar. c) Artar.

24. ç) Atoma 2 ve 3. uyarılma enerji seviyelerinin arasına denk gelen enerjide foton göndermek

30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
E	C	D	D	E	E	A	B	C	C

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
B	B	D	C	E	A	B	D	B	E

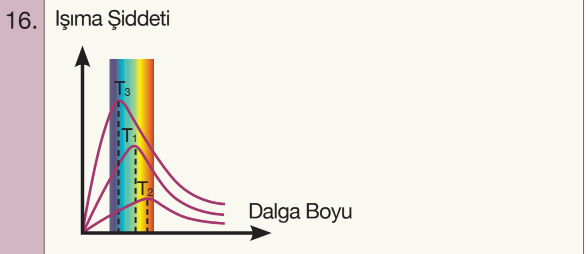
50	51	52	53	54	55	56	57	58	
C	D	A	C	A	B	D	A	A	

5. ÜNİTE

1	2	3	4	5	6	7	8
Y	D	D	D	D	Y	Y	D

9	10	11	12	13	14	15	
Y	Y	D	D	D	D	Y	

16.



17.	a) Tepe dalga boyu değeri azalır. Cisim morötesi bölgede maksimum ışıma yapar.
	b) Işıma şiddeti artar.
	c) Işıma şiddeti azalır.
	ç) Tepe dalga boyu değeri artar.
18.	a) K ve L
	b) K fotonu gönderilmesi durumunda fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi 0,54 eV olur. L fotonu gönderilmesi durumunda fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi 0,02 eV olur.
20.	a) 4 eV
	b) 2 eV
	c) 2 eV
	ç) 2 V

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
E	E	D	A	E	D	C	A	B	C

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
B	C	C	A	D	E	B	B	D	C

6. ÜNİTE

1	2	3	4	5	6	7	8
D	D	Y	D	Y	Y	D	Y

9	10	11	12	13	14	15	
D	D	Y	D	D	Y	D	

16.	Röntgen cihazından gönderilen X ışınları, gönderildiği bölgenin kalınlık, yoğunluk, atomik yapı vb. özelliklerine göre farklı miktarlarda kırınıma uğrayarak röntgen filmi üzerinde bir görüntü meydana getirmektedir.
17.	MR cihazı tarafından üretilen radyo dalgalarının protonlardan yansıması sonucunda, bölgedeki proton yoğunluğuna bağlı olarak, bilgisayar tarafından su yoğunluğu tespit edilir ve dokunun görüntüsü oluşturulur.
18.	PET taraması; kanser, kalp rahatsızlıkları ve beyin bozuklukları dâhil olmak üzere çeşitli hastalıkların belirlenmesine yardımcı olmaktadır.
19.	İçinde hava bulunan organların, örneğin akciğerin, görüntülenmesinde ultrason cihazları etkili değildir.
20.	Bilgisayarlı tomografi cihazında, röntgen cihazından farklı olarak, tek bir X ışını değil farklı açılardan bir dizi X ışını kullanılır. Farklı açılardan, birden fazla ışın kullanılarak bilgisayar yardımı ile daha detaylı bir görüntüleme yapılmaktadır.
21.	Sonar cihazları, özellikle deniz altının haritalanması, balıkçılıkta balık sürülerinin görüntülenmesi, denizaltılarda yön tayini gibi amaçlarla kullanılmaktadır.
22.	Radarlar, meteorolojik verilerin takibi, hava ve deniz trafiğinin izlenmesi, araçların hız kontrolü vb. alanlarda kullanılır.
23.	Termal kameralar, nesnelerin kızılötesi enerjisini algılar. Termal kamera, bu kızılötesi verileri, ölçülen nesnenin yüzey sıcaklığını gösteren elektronik bir görüntüye dönüştürür.
24.	LCD'lerin avantajları düşük enerji sarfiyatı ve daha az yer kaplamasıdır. Plazmaların avantajları ise daha yüksek parlaklık ve yenileme hızına sahip olmasıdır.
25.	Röntgen ve tomografi, X ışınlarını kullandığından canlı dokular için zararlı olabilmektedir.
26.	LASER ışınları; cerrahide, böbrek taşlarını yok etmede, kanser tanı ve tedavisinde, göz merceğindeki eğriliğin düzeltilmesinde, fiber optik endoskopla bağırsaklardaki ülserleri tespit etmede, karaciğer ve akciğer hastalıklarında, mikroorganizmaların ve hücrelerin iç yapısını incelemede, akne tedavisinde kullanılmaktadır.
27.	Diyot, transistör, güneş pili ve LED yarı iletkenlerden yapılmış devre elemanlarıdır.
28.	MAGLEV trenlerinin çalışma prensibi, 3 döngüye dayanmaktadır. 1. döngüde manyetik kuvvet yardımı ile tren dikey olarak raydan yaklaşık 12,7 cm yükseltilir. 2. döngüde tren yatay olarak uygun bölümde tutulur. 3. döngüde tren manyetik kuvvetin etkisi ile hareket ettirilir.
29.	Parçacık hızlandırıcılarda elde edilen veriler, başta nükleer fizik ve parçacık fiziği alanlarında olmak üzere petrol ve gaz rezervlerinin belirlenmesi, nanoteknoloji, nükleer atıkların temizlenmesi, biyoteknoloji, gen bilimi, gıda sterilizasyonu, savunma sanayi vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
D	D	C	E	E	C	D	E	B	E

40	41	42	43	44	45	46			
D	D	E	D	E	D	A			

A

açı: Derece veya radyan gibi birimlerle ölçülen geometrik biçim.
açısal hız: Bir eksen etrafında dolanan cismin, birim zamanda taradığı açının radyan cinsinden değeri.
açısal ivme: Birim zamandaki açısal hız değişimi.
açısal momentum: Bir nokta etrafında dolanan bir cismin hareketini açıklamakta kullanılan konum ve çizgisel momentum vektörlerinin vektörel çarpımına eşit olan nicelik.
ağırlık: Bir gök cisminin yüzeyinde çekim ivmesi ile doğru orantılı değişen nicelik.
algıç: Gaz, mayın, radyoaktif mineral, manyetik dalga vb.ni bulmaya, tanımaya yarayan cihaz, dedektör.
amortisör: Motorlu araçlarda sarsıntı, sallantı vb. hareketleri en aza indiren, yayların gereksiz hareketlerini gidermeye yarayan düzen.
angström: Daha çok atomik ölçekte kullanılan uzunluk birimi.
antimadde: Madde ile elektrik yük işaretleri zıt, kütle ve spinleri ile aynı olan madde türü.
ardışık: Birbiriyle ilintili bir şekilde belirli bir sırayı izleme.
atom: Gözle görülmeyen ve birleştiğinde molekülleri oluşturan yapı.
atom altı: Atomdan daha küçük yapıya sahip parçacık türlerinin genel ismi.

B

baryon: Hadron grubunda ağır parçacıklar olarak yer alan üç kuarklı parçacıkların genel ismi.
bobin: Genellikle dışı yalıtılmış bir iletkenin spiral şeklinde sarılması ile yapılan ve indüktans özelliği gösteren devre elemanı.
bozon: Madde parçacıkları arasındaki etkileşime aracılık eden, spin kuantum sayıları sıfır ya da pozitif tam sayı olan parçacıkların genel adı.
bulgu: Araştırma verilerinin çözümlenmesinden sonra elde edilen bilimsel sonuç.
büyük patlama: Evrenin aşırı yoğun, sıcak bir noktadan başladığını ileri süren, gözlemsel kanıtlarla desteklenmekte olan evren modeli.

C-Ç

Compton olayı: Fotonun serbest elektronla esnek çarpışma yaparak saçılması sonucunda bazı fiziksel niceliklerinin değişmesi.
Coulomb kuvveti: Yüklü iki parçacığın birbirine eşit büyüklükte uyguladığı temas gerektirmeyen itme-çekme kuvveti.
çıkarım: Eldeki bilgilerden yeni bilgiler türetme, eldeki verilerden birtakım mantıksal sonuçlara varma.
çizgisel momentum: Bir cismin kütlesi ile hızının çarpımından elde edilen vektörel bir nicelik.

D

dalga leğeni: Su dalgası oluşturmak amacıyla hazırlanan deney düzeneği.
de Broglie dalga boyu: Kuantum mekaniğinde parçacığa eşlik eden dalganın, parçacığın momentumu ile ters orantılı olarak değişen dalga boyu.
dedektör: Fiziksel bir büyüklüğün varlığını veya değerini belirleyen aygıt, algıç.
değişken: Değeri değişebilen ve çoğunlukla ölçülebilen bir nicelik ya da özellik.
devre: Elektrik ve elektronik elemanların, aygıtların, aygıt takımlarının, kaynakların, dönüştürücülerin vb. bağlantılanması ile oluşturulan yapı.
diyamanyetik: Manyetik alanın yönüne ters yönelme gösteren malzeme.
diyagram: Bir sistemin yapısını ya da işlemlerin akışını gösterir şema, değişkenlerin birbirine bağlılığını gösteren grafik.
diyot: Yalnızca bir yönde akım geçiren yarı iletkenlerden oluşturulan iki uçlu devre elemanı.
dolanım: Bir cismin, diğer bir cisim etrafında veya ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yapması.
dönme kinetik enerjisi: Kendi ekseni etrafında dönen cisimlerin dönüşünden kaynaklanan enerji.

E

eğimli viraj: Doğrusal olmayan, eğimi olan yollardaki viraj.
ekolokasyon: Ses dalgalarını kullanarak nesnelerin konumunu belirleyen sonar.
elektrik alanı: Sabit ya da hareketli elektrik yükleri üzerine kendi doğrultusunda bir kuvvet uygulayabilen vektörel alan.

elektrolüminesans: P-N ekleminde olan elektron geçişi sayesinde LED'lerin ışık yayması.
elektron spini: Elektronların kendi ekseni etrafında dönüşü.
elektromanyetik dalga: Yüklü parçacıkların ivmelenmesi sonucu ortaya çıkan, birbirine ve yayılma doğrultusuna dik elektrik alanı ve manyetik alan bileşenlerinden oluşan enine dalga.
elektromanyetik ışıma: Elektromanyetik dalgalar hâlinde enerji aktarımı.
elektromanyetik spektrum: En uzun dalga boyundan (en küçük frekans) en kısa dalga boyuna (en yüksek frekans) kadar tüm dalga boylarını ya da frekansları kapsayan elektromanyetik dalga çeşitliliği.
elektrolit: Bir çözücüde pozitif ve negatif iyonları ayrıştıran elektriksel iletkenliğe sahip ortam.
elektroskop: Bir cismin elektriklenmesini ve bu elektriklenmenin derecesini gösteren araç.
elektronvolt: Bir voltluk bir potansiyel değişime uğrayan yüklü bir elektronun enerjisinde meydana gelen değişime eşit olan enerji.
elektrot: Bir elektrolitin içine daldırılan; artısına anot, eksisine katot denilen iki iletken çubuktan her biri.
eliptik yörünge: Bir gök cisminin hareketi süresince elips biçiminde izlediği yol.
emisyon: Uyarılmış elektronun, bulunduğu yörüngeden alt yörüngelere inmesi sonucunda dışarıya foton yayınlaması olayı.
esir: Elektromanyetik dalgaların yayılması için gerekli olduğu düşünülen varsayımsal ortam.
eylemsiz referans sistemi: Klasik fiziğe göre gözlemlenen cismin ivmesinin sıfır olduğu sistem.

F

frekans: Dönemli olayların birim zamandaki yinelenme sayısı, titreşim sayısı.
fotoelektron: Bir fotonun bütün enerjisini alarak metalden sökülen ve serbest kalan elektron.
foton: Enerji ve momentumu olan; yüksüz, durgun ve kütlesi olmayan parçacık, elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı olan parçacık.
fotovoltaik pil: Işık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren aygıt, güneş pili.

G-H

giyotin: Basımevi vb. yerlerde kâğıtları kesmek için kullanılan araç.
gluon: Kuarkları bir arada tutan, güçlü nükleer kuvvetin etkileşim parçacığı olan bozon.
göreli: Belirli koşullarda zaman, uzunluk, derinlik vb. niceliklerin farklı algılanması.
hertz: Frekans birimi.
hidrofon: Su ortamında ilerleyen ses dalgalarını yakalamak için kullanılan aygıt.
hijyen: Sağlığa zarar verecek ortamlardan korunmak için yapılacak uygulamalar ve alınan temizlik önlemlerinin tümü.
hipotez: Mantıksal sonuçlar çıkarmak üzere öne sürülen ve kabul edilen önermeler, varsayım.
Hooke Yasası: Bir malzemedeki gerilim ile uzanım arasındaki oranın sabit olduğunu belirten fizik yasası.
Hubble Yasası: Gök adaların veya yıldızların Dünya'dan uzaklaşma hızlarının uzaklıkları ile doğru orantılı olduğunu ifade eden yasa.

I-İ-J

ışıma: Enerjinin elektromanyetik dalgalar ya da radyoaktif parçacıklar biçiminde yayılması.
ilüzyon: Duyu yanılsaması, yanılsama.
indüksiyon bobini: Mekanik bir kontağın açılıp kapanması ile kesikli hâle getirilmiş doğru akımdan yüksek gerilimli darbeler üreten transformatör aygıtı.
iyonlaşma: Moleküllerin parçalanmasıyla atomlara, moleküllere, molekül gruplarına elektron katılması ya da onlardan elektron ayrılmasıyla net elektrik yüküne sahip atomlar ya da atom gruplarının oluşması.
iyonlaşma enerjisi: Başlangıçta nötr durumda olan bir atom veya molekülü iyonlaştırmak için verilmesi gerekli olan en küçük enerji.
iz düşümü: Bir cismin, bir düzlem üzerinde belli geometri kurallarına uyularak çizim yoluyla gösterilmesi.

K

kararlı çekirdek: Radyoaktif ışıma yapmadan durumunu koruyan atom yapısı.
kararsız çekirdek: Kendiliğinden alfa, beta parçacığı ya da gama ışınları yayınlayarak başka parçacıklara bozunabilen atom yapısı.

kararsız parçacık: Kendiliğinden başka parçacıklara bozunabilen parçacık.
kırınım: Elektromanyetik dalgaların dar bir aralıktan geçerek perde üzerinde saçaklar oluşturması, su dalgalarının dar engelden geçişi sırasında bükülmesi.
kızılötesi: Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinden büyük, mikrodalgadan küçük dalga boyu tarafında yer alan, gözle görülemeyen ışınlar.
kinetik enerji: Cismin hareketi sonucu oluşan enerji.
kozmik mikrodalga ışıması: Büyük patlamanın ardından oluşan ve bu teoriyi destekleyen mikrodalga boyutundaki elektromanyetik dalga.
Kuiper Kuşağı: Güneş sistemini çevreleyen halka biçimindeki bölge.
küresel elektrot: Küre biçiminde olan yüklü elektrot.

L

LASER: Aynı fazda tek renkli ve yüksek enerjili ışın yayan alet.
LASER ışını: LASER ışık kaynağının yaydığı ışın.
levitasyon: Süper iletken maddelerde görülen, manyetik itme kuvvetinin yer çekimi kuvvetini dengelemesi sonucunda cisimlerin havada hareket etmesi olayı.

M-N

makro boyut: Gözle görülebilen büyük ölçek.
mekanik: Ortam ihtiyacı duyan dalgaların genel adı, cisimlerin hareketleri ile uygulanan kuvvetler arasındaki ilişkileri inceleyen fizik dalı.
metrolojik: Bilim ve teknolojinin her alanında ölçmenin kuramsal ve uygulamaya dönük yönlerini inceleyen bilim dalı ile ilgili olan, ölçü bilimi ile ilgili.
mezon: Baryonlardan hafif kuark ve antikuarktan oluşan kararsız parçacıkların genel ismi.
mikro boyut: Gözle görülemeyen küçük ölçek.
mikroişlemci: Bir bilgisayarın temel bileşeni olan merkezî işlem biriminin bir tüm devreye sığdırılmış hâli.
mikroskobik: Gözle görülemeyecek kadar küçük fakat kuantum boyutlarından büyük ölçekler.
monokromatik: Tek renkli, tek frekans veya dalga boyundaki elektromanyetik dalga.
nükleer fisyon: Ağır çekirdeğin nötron ya da proton soğurması sonucunda birkaç nötron ile birlikte enerji yayınımı eşliğinde iki ya da daha fazla yakın kütleli parçaya ayrılması olayı.
nükleer füzyon: Hafif çekirdeklerin daha ağır bir çekirdek oluşturmak üzere birleşmesi ve enerji açığa çıkarması olayı.

O-Ö

olasılık dalgası: Parçacığa eşlik eden, elektromanyetik ve mekanik dalga biçiminde olmayan madde dalgası olarak isimlendirilen dalga paketleri.
optik: Işığa duyarlı hassas alet veya kaynak, fizik biliminde ışık olaylarını inceleyen alt bilim dalı.
optoelektronik: Lazer, yarı iletken elektroniği ve fiber optik alanlarını bir araya getiren teknoloji; elektromanyetik ışınımı elektrik akımına dönüştüren fotosel aygıt.

P-R

parçacık: Foton, proton, baryon gibi maddenin tane ya da ışınım özelliğini oluşturup ayrı nitelikler ve etkileşimler gösteren çok küçük boyutlu nesnelerin ortak adı.
periyodik: Düzenli aralıklarla ya da çevrimsel olarak sürekli yenilenen salınım hareketi.
piezoelektrik: Kristal benzeri yapılarda fiziksel basıncın etkisiyle gerilim üretme.
piksel: Bilgisayarla görüntü işlemede adreslenebilen en küçük görüntü ögesi, ekranın çözünürlüğünün bir ölçüsü olarak kullanılan, aynı rengi veren kaynak.
polarizasyon: Işığın bir yönde kutuplanması.
postüla: Doğruluğu veya gerekliliği varsayılan önerme.
pozometre: Işığın miktarını ve ışık girme süresini ölçen ölçüm cihazı.
primer devre: Bobin devresindeki giriş, verici veya ilk kısım.
radar: Elektromanyetik dalgaların yansıma özelliğini kullanan; iletişim, meteoroloji, hava, deniz, kara trafiği gibi birçok alanda faydalanılan sistem.

radyoaktif bozunma: Kararsız atom çekirdeğinin, kendiliğinden alfa, beta ya da gama ışını yayınlayarak kararlı ve farklı bir atom çekirdeğine dönüşmesi olayı.
rezonans: Periyodik bir sürücü kuvvetin frekansının, etkileştiği sistemin doğal salınım frekanslarından biriyle çakışması durumu, titreşim.

S-Ş

salınım: Bir dalga, cisim ya da parçacığın denge durumu etrafındaki periyodik hareketi.
santrifüj: Merkezcil kuvvet etkisiyle kanda bulunan karışımların birbirinden ayrılmasını sağlayan, kan tüplerinin dik olarak yerleştirildiği laboratuvar aleti.
sarkaç: Bir ucu sabit bir noktaya asılmış kütlesi ihmal edilen bir ip ya da yay ile diğer ucuna bağlanmış bir kütlenin salınım hareketi yapmasını sağlayan düzenek.
sekonder devre: Primer devredeki verilerin aktarıldığı sistemde çıkış, alıcı veya ikinci kısım.
SI: Uluslararası Birimler Sistemi'nin kısaltması.
simülasyon: Konunun anlaşılmasına yardımcı olmak amacıyla dijital ortamda benzerini yapma.
spektroskopik: Işık ve madde arasındaki ilişkinin incelenmesini sağlayan yöntem.
spektrum: Işığın frekansına göre renklerine ayrılması, belirli bir frekans aralığında elektromanyetik ışınımın değerini ya da ışınımın enerji büyüklüğünün frekansa göre değişimini gösteren grafik.
spekülasyon: Saptırma, kurgu.
sonar: Deniz içindeki cisimlerden yayılan veya kendisinin gönderdiği ses dalgalarının yansıması sonucunda cisimlerin yerini ve özelliklerini saptamaya yarayan aygıt.

T

tanılama: Kimi işaret, bulgu ve belirtilerden yola çıkarak bir nesnenin veya olayın ne olduğunu anlama, bir olayın nedenini ayrımsama.
tasarım: Bir ürün veya hizmetin, bir sürecin ya da yapının gerçekleştirilebilmesi amacıyla ilgili projenin ya da onu oluşturan alt birimlerinin tüm ayrıntılarını eldeki olanaklar ve teknolojik bilgiler çerçevesinde saptama.
tambur: Çamaşır makinelerinin içine yatay olarak yerleştirilen, elektrik motoru sayesinde dönen silindir biçimindeki kap.
teori: Belirli bir olayı ya da olguyu açıklamaya ve onlarla ilgili öngörüler yapmaya yönelik tutarlı bir bütün oluşturan tanımlar, kavramlar, ön doğrular ve deneysel olarak doğrulanabilir kurallar sistemi.
termal kamera: Kızılötesi ışınları yakalayıp sıcaklığa bağlı olarak görüntüye dönüştüren alet.
transistör: Elektrik sinyallerini yükseltmek amacıyla tasarlanan yarı iletken devre elemanı.
tungsten filamanı: Akkor lambanın ışık veren kısmını oluşturan çok yüksek erime noktasına sahip metal.
türbin: Su, buhar, gaz gibi herhangi bir akışkandan aldığı enerjiyi dönme yöntemiyle mekanik enerjiye dönüştüren düzenek.

U-Ü

ultrasonik: Yüksek frekanslı ses dalgaları.
uyarılmış emisyon: Uyarılmış elektronun bulunduğu yörüngeden alt yörüngelere inmesi için dışarıdan gönderilen fotonun etkisiyle foton yayınlanması.
uydu: Bir gezegenin çekiminde bulunarak onun etrafında dolanan yapay veya doğal cisim.

V-Y-Z

valf: Suyu kontrol etmeye yarayan vana.
veledrom: İçinde bisiklet yarışlarının yapıldığı pist.
yapıcı girişim: Dalga hareketinde birbirinin üzerine aynı faz ile binip girişim sonucu oluşan genliğin, etkileşen dalgaların herhangi birinin genliğinden daha büyük olduğu etkileşim.
yarı ömür: Radyoaktif maddenin bozunarak yarıya inmesi.
yıkıcı girişim: Dalga hareketinde dalgaların birbirini söndürecek şekilde üst üste gelmesi sonucunda oluşan genliğin sıfır olduğu etkileşim.

KAYNAKÇA

Aczel, A. D. (2018). *Dolanıklık fiziğin en büyük gizemi.* (K. Kence, Çev.) İstanbul: Kırmızı Kedi Yayınevi.

Arya, A. P. (1999). *Çekirdek fiziğinin esasları*. Erzurum: Aktif Yayınevi.

Avundukluoğlu, M. A., & Turhan, Ş. (2007). *Fizik terimleri sözlüğü*. İstanbul: Ötüken Neşriyat.

Baker, J. (tarih yok). *50 fizik fikri*. (Ç. Sunay, Çev.) Domingo.

Balkan, N., & Erol, A. (2012). *Çevremizdeki fizik*. Ankara: Tübitak Yayınları.

Bernstein, J. (2006). *Albert Einstein fiziğin sınırları*. (Y. U. Yazgan, Çev.) Ankara: Tübitak Yayınları.

Bixby, W. (2006). *Galileo ve Newton'un evreni*. (N. Arık, Çev.) Ankara: Tübitak Yayınları.

Blanco, V. M. (1978). *Güneş sisteminin temel fiziği*. (Z. Tüfekçioğlu, Çev.) Ankara: Ankara Üniversitesi Basımevi.

Boyla, M., & Canküyer, Y. (1995). *Nükleer enerji terimleri sözlüğü*. Ankara: Türk Dil Kurumu.

Brooks, M. (2016). *Fizik kullanım kılavuzu*. (E. Kılıç, Çev.) İstanbul: Aylak Kitap.

Crawford, F. S. (1990). *Dalgalar Berkeley fizik dersleri*. (A. Aydınuraz, A. F. Cesur, T. N. Durlu, S. Durmaz, E. Erdik, F. Köksal, & R. Nasuhoğlu, Çev.) Ankara: Bilim Yayınları.

Fishbane, P. M., Gasiorowicz, S., & Thornton, S. T. (2013). *Temel fizik*. (C. Yalçın, Çev.) Ankara: Arkadaş Yayıncılık.

Ford, K. W. (2014). *101 soruda kuantum göremediğiniz dünya hakkında bilmeniz gereken her şey.* (B. Gönülşen, Çev.) İstanbul: Alfa.

Giancoli, D. C. (2009). *Fen bilimcileri ve mühendisler için fizik*. (G. Önengüt, Çev.) Ankara: Akademi Yayıncılık.

Göker, L. (1995). *Türk İslâm astronomi bilginleri ve gökyüzü bilgileri*. İstanbul: Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.

Gribbin, J. (2012). *Schrödinger'in kedisinin peşinde kuantum fiziği ve gerçeklik*. (N. Çatlı, Çev.) İstanbul: Metis Yayınları.

Griffiths, D. (2015). *Temel parçacıklara giriş*. (G. Önengüt, J. Y. Süngü, Z. Kırca, B. B. Şirvanlı, & N. Demir, Çev.) Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Griffiths, D. J. (2000). *Elektromagnetik teori*. (B. Ünal, Çev.) Ankara: Gazi Kitabevi.

Guillen, M. (2012). *Dünyayı değiştiren beş denklem*. (G. Tanrıöver, Çev.) Ankara: Tübitak Yayınları.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fiziğin temelleri*. (B. G. Akınoğlu, & H. M. Alev, Çev.) Ankara: Palme Yayınevi.

Hawking, S. (2017). *Ceviz kabuğundaki evren*. (K. Çömlekçi, Çev.) İstanbul: Alfa Yayıncılık.

Hawking, S. (2017). *Zamanın kısa tarihi*. (B. Gönülşen, Çev.) İstanbul: Alfa Yayıncılık.

Hill, D. R. (2011). *Gökyüzü ve bilim tarihi İslam ve bilim teknolojisi*. (M. Kaçar, & A. Bir, Çev.) İstanbul: Boyut Yayın Grubu.

İnce, F. (2015). *Uzay bir insanlık serüveni*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Kaku, M. (2014). *Geleceğin fiziği*. (H. Oymak, & Y. S. Oymak, Çev.) Ankara: Odtü Yayıncılık.

Kartal, S. (2019). *Üniversiteler için fizik*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Kirk, T., & *Hodgson*, N. (2012). Physics. Londra: Oxford.

Kittel, C., Knight, W. D., Ruderman, M. A., Helmholz, A. C., & Moyer, B. J. (2006). *Mekanik Berkeley fizik dersleri*. (T. N. Durlu, & Y. Elerman, Çev.) Ankara: Bilim Yayıncılık.

Kızılırmak, A. (1969). *Gökbilim terimleri sözlüğü*. Ankara: Türk Dil Kurumu.

Knight, R. D., Jones, B., & Stuart, F. (2015). *College physics a strategic approach*. Harlow: Pearson.

Komisyon. (1988-2016). *Türkiye Diyanet Vakfı İslam ansiklopedisi*. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı.

Komisyon. (2006). *Yazım kılavuzu*. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları.

Komisyon. (2011). *Büyük Türkçe sözlük*. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları.

Komisyon. (2019). *Türkçe bilim terimleri sözlüğü: Mühendislik bilimleri.* Ankara: TÜBA Türkiye Bilimler Akademisi.

Krane, K. S. (2002). *Nükleer fizik*. (B. Şarer, Çev.) Ankara: Palme Yayınevi.

Maclachan, J. (2008). *Galileo Galilei ilk fizikçi*. (İ. Kalınyazgan, Çev.) Ankara: Tübitak Yayınları.

Nasuhoğlu, R., Bingöl, G., Gür, H., İnan, D., & Ünal, N. (1983). *Fizik terimleri sözlüğü*. Ankara: Türk Dil Kurumu.

Richards, J. A., Sears, F. W., Wehr, M. R., & Zemansky, M. W. (1982). *Modern üniversite fiziği.* (F. Domaniç, E. Erdik, N. Zengin, R. Nasuhoğlu, & E. Tokmakçıoğlu, Çev.) İstanbul: Çağlayan Kitabevi.

Ronan, C. A. (2005). *Bilim tarihi*. (E. İhsanoğlu, & F. Günergun, Çev.) Ankara: Tübitak Yayınları.

Serway, R. A., & Beichner, R. J. (1996). *Fen ve mühendislik için fizik*. (K. Çolakoğlu, Çev.) Ankara: Palme Yayıncılık.

Serway, R. A., & Vuille, C. (2021). *College physics*. Boston: Cengage.

Sezgin, F. (2012). *İslam uygarlığında mimari, geometri, fizik, kimya, tıp*. İstanbul: Boyut Yayın Grubu.

Sinanoğlu, O. (1978). *Fiziksel kimya terimleri sözlüğü*. Ankara: Türk Dil Kurumu.

Smolin, L. (2017). *Zamanın yeniden doğuşu fizikteki krizden evrenin geleceğine*. (B. Tanrıseven, Çev.) Ankara: Tübitak Popüler Bilim Kitapları.

Somer, G., & Yaşar, A. (2009). *Kimya terimleri sözlüğü*. Ankara: Türk Dil Kurumu.

T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Ortaöğretim Genel Müdürlüğü ortaöğretim fizik dersi öğretim programı. (2018). Ankara.

Voelkel, J. R. (2002). *Johannes Kepler yeni gökbilim*. (N. Özlük, Çev.) Ankara: Tübitak Yayınları.

Weinberg, S. (2017). *Atomaltı parçacıklar bir keşif serüveni*. (Z. Aydın, Çev.) Ankara: Tübitak Popüler Bilim Kitapları.

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2010). *Sears ve Zemansky'nin üniversite fiziği*. (H. Ünlü, A. T. Giz, M. Ö. Hortaçsu, Ö. Özer, N. Postacıoğlu, & M. H. Yükselici, Çev.) İstanbul: Pearson Yayıncılık.

Kaynakça APA 6'ya göre düzenlenmiştir.

GÖRSEL KAYNAKÇASI, GENEL AĞ KAYNAKÇASI VE E-İÇERİK KAYNAKÇASI



Kitabın görsel kaynakçası, genel ağ kaynakçası ve e-içerik kaynakçasına bu karekodu okutarak ulaşabilirsiniz.

A

B

C-Ç

D

E

F

G

H

I

İ

K

L